



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA E AMBIENTAL
MESTRADO

**BLOCOS PARA EXECUÇÃO DE ALVENARIA DE VEDAÇÃO EMPREGANDO
GARRAFAS PET:
AVALIAÇÃO MECÂNICA E TERMO-ACÚSTICA**

Leila Soares Viegas

**João Pessoa
Maio/2012**

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA E AMBIENTAL
MESTRADO

**BLOCOS PARA EXECUÇÃO DE ALVENARIA DE VEDAÇÃO EMPREGANDO
GARRAFAS PET:
AVALIAÇÃO MECÂNICA E TERMO-ACÚSTICA**

Leila Soares Viegas

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba / Centro de Tecnologia, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Mestre.

Orientador: Dr. Normando Perazzo Barbosa

Professor Colaborador: Dr. Ulisses Targino Bezerra

João Pessoa
Maio/2012

V656b Viegas, Leila Soares.

Blocos para execução de alvenaria de vedação empregando garrafas pet: avaliação mecânica e termo-acústica / Leila Soares Viegas.-- João Pessoa, 2012.

116f.

Orientador: Normando Perazzo Barbosa

Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT

1. Engenharia Urbana e Ambiental. 2. Reciclagem.
3. Alvenaria de vedação – garrafas pet. 4. Isolamento termo-acústico. 5. Habitação de interesse social.

UFPB/BC

CDU: 62:711(043)

**BLOCOS PARA EXECUÇÃO DE ALVENARIA DE VEDAÇÃO EMPREGANDO
GARRAFAS PET: AVALIAÇÃO MECÂNICA E TERMO-ACÚSTICA**

LEILA SOARES VIEGAS

Dissertação aprovada em 30 de maio de 2012

Período Letivo: 2012.1


Prof. Dr. NORMANDO PERAZZO BARBOSA – UFPB
Orientador


Prof. Dr. JOACIO DE ARAUJO MORAIS JUNIOR - UFPB
Examinador Interno


Prof. Dr. CONRADO DE SOUZA RODRIGUES – CEFET-MG
Examinador Externo


Prof. Dr. ULISSES TARGINO BEZERRA – IF-PB
Colaborador

João Pessoa-PB
2012

“Façamos o que estiver ao nosso alcance para provarmos que o homem não é o maior erro da criação.”(Rabindranath Tagore).

A minha mãe que durante o tempo que esteve entre nós muitas vezes sacrificou seus sonhos para que os meus fossem realizados; ao meu marido, companheiro de todas as horas, **DEDICO**.

AGRADECIMENTOS

A **DEUS**, pela saúde e força concedidas, pelo dom da vida e por estar sempre me guiando às escolhas certas.

Ao **Prof. Dr. Normando Perazzo Barbosa**, pelos ensinamentos transmitidos e pela orientação para execução deste trabalho.

Ao **Prof. Dr. Ulisses Targino Bezerra**, um grande incentivador e um exemplo de mestre.

Ao **Prof. Virgílio Mendonça**, pela gentileza em ceder seus conhecimentos bem como o laboratório de acústica para a realização dos ensaios.

A **Ricardo, Zito, Sebastião e Delby**, funcionários do LABEME (Laboratório de Materiais e Estruturas), que se transformaram em bons amigos e contribuíram de forma imprescindível para a concretização desta pesquisa.

A **Thiago Barreto Chagas**, marido e meu melhor amigo, que conheceu no íntimo todas as minhas alegrias, tristezas e dificuldades durante a realização deste mestrado.

A **Brunna, Jesus Charles, José Rodrigo, Carol, Juliana e Julie**, amigos que nasceram durante o mestrado.

Ao casal de amigos **Natália e Marcos**, companheiros de todas as horas.

Ao **CNPq** (Conselho Nacional Científico e Tecnológico) pelo apoio financeiro na forma de bolsa e financiamento da pesquisa.

Ao **PPGEUA** (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental).

A todos que de alguma forma se dedicaram e contribuíram para a elaboração desta dissertação.

RESUMO

A reciclagem e o reaproveitamento de materiais são vistos como as soluções mais evidentes em relação ao desenvolvimento sustentável. Um dos aspectos relevantes para este desenvolvimento refere-se à inserção da engenharia para conceber meios que propiciem a reutilização de materiais considerados como lixo, mas com grande potencial de aplicabilidade na própria indústria da construção civil, através da geração de produtos e tecnologias apropriadas que podem ser uma alternativa para a habitação de interesse social. Neste contexto, a presente pesquisa tem o objetivo de propor o uso de blocos incorporando garrafas PET para a execução de alvenarias de vedação que proporcionem isolamento termo-acústico visando seu emprego em habitações de interesse social. Para a execução dos blocos, as garrafas PET foram inseridas e centralizadas em formas de madeira de fácil confecção, que foram posteriormente preenchidas com argamassas. Foram executadas três paredes em alvenaria convencional com tijolos cerâmicos e três paredes com blocos em PET, para comparação dos desempenhos térmico, acústico e mecânico, variando-se o traço da argamassa. O ensaio térmico consistiu em se preparar painéis com altura de 1,20 m e largura de 1,00 m, instrumentados com cinco termopares em ambos os lados, medindo-se as temperaturas na superfície de incidência da fonte de calor e no lado oposto. Já o teste de comportamento acústico foi feito de duas maneiras distintas, uma mais simples e outra mais complexa, usando-se câmara reverberante, sempre colocando-se fonte sonora em um dos lados e medindo-se a pressão sonora após as ondas atravessarem as paredes já testadas termicamente. Para obtenção do desempenho mecânico os mesmos painéis foram ensaiados à compressão em laboratório de estruturas. As alvenarias executadas com blocos em PET apresentaram nos ensaios de desempenho térmico, comportamento semelhante aos obtidos nas alvenarias convencionais. Nos ensaios de avaliação acústica, as alvenarias executadas com blocos em PET apresentaram desempenho superior ao das alvenarias com os blocos cerâmicos. Já no que diz respeito ao desempenho mecânico, todas as três paredes com blocos PET chegaram a maior carga de ruptura que aquelas com blocos cerâmicos, portanto os blocos em PET podem ser usados como blocos de vedação. Seu processo de fabricação é simples e poderia ser aplicado por populações carentes organizadas, com apoio de alguma entidade, para produzirem esse elemento de construção, com a geração de emprego e renda.

Palavras-chaves: habitação de interesse social; alvenaria; bloco; PET.

ABSTRACT

Recycling and reuse of materials is the most evident solution regarding sustainable development. One relevant aspect to this development refers to the integration of engineering to devise ways that enable the reuse of materials considered as waste, but with great potential of applicability in the building industry itself, through the generation of appropriate technologies and products that can be an alternative to social housing. In this regard, this research aims to propose the use of PET bottles incorporating blocks for the implementation of fence masonry that provides thermal and acoustic protection, seeking its use in social housing. For the execution of the blocks, the PET bottles were inserted and centered in wooden forms easily made, which were subsequently filled with mortar. Three walls were executed in masonry with conventional ceramic brick and three walls with PET blocks for comparison of their performance concerning thermal, acoustic, and mechanical tests. Three types of mortar were used. The thermal test consisted in preparing panels 1.20 m of height and a width of 1.00 cm instrumented with five thermocouples on both sides. The acoustic performance test was done in two ways, a simpler and other more complex using reverberating chamber. In both tests a sound source was placed in one side and the sound pressure was measured before and after the wave crossed the walls. To obtain the mechanical performance the same panels were tested in a structural laboratory. The masonries with PET blocks showed in tests of thermal performance similar behavior to those built with conventional masonry. In the acoustic tests, masonry made with PET blocks performed better than the conventional ones. Concerning the mechanical performance, all three PET block walls reached greater compression strength than those with ceramic bricks, therefore the blocks with PET can be used in sealing walls. The manufacturing process of the PET blocks is simple and it could be applied by the poor organized communities to produce a construction product generating employment and income.

Keywords: social housing; masonry. block; PET.

SUMÁRIO

RESUMO.....	8
ABSTRACT	9
LISTA DE TABELAS	12
LISTA DE FIGURAS	13
SÍMBOLOS E ABREVIACÕES.....	16
ESTRUTURA DO TRABALHO.....	17
 CAPÍTULO I.....	 18
1 - INTRODUÇÃO	18
1.2 - OBJETIVOS	20
1.2.1 - Objetivo Geral	20
1.2.2 - Objetivos Específicos	20
- fazer ensaios do comportamento mecânico das alvenarias.....	20
1.3 - JUSTIFICATIVA.....	21
 CAPÍTULO II.....	 23
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
2.1 - Habitação de Interesse Social.....	23
2.2 – Alvenaria	26
2.2.1 – Alvenaria Estrutural	28
2.2.2 – Alvenaria de vedação	29
2.3 - Uso de materiais não convencionais na construção civil	36
2.4- Garrafas PET	39
2.4.1 - Reciclagem do PET.....	42
2.5 – Transferência de Calor entre o meio e o ambiente construído.....	45
2.6 – Desempenho Acústico em edificações.....	46
2.6.1 – Conceitos Acústicos	47
2.7 – Avaliação de Resistência Mecânica em Blocos e Paredes	52
 CAPÍTULO III.....	 54
3 – MATERIAIS E MÉTODOS.....	54
3.1 - Materiais.....	54
3.2 – Métodos.....	56

3.2.1 – Desenvolvimento dos Blocos incorporando garrafas PET	56
3.2.2 – Caracterização das argamassas empregadas na confecção dos blocos	59
3.2.3 – Caracterização dos blocos quanto à resistência à compressão	61
3.2.4 – Execução das Paredes.....	61
3.2.5 – Ensaios térmicos nas alvenarias	62
3.2.6 – Ensaios acústicos nas alvenarias.....	65
3.2.7 – Ensaios de resistência mecânica das alvenarias	71
CAPÍTULO IV.....	73
4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES	73
4.1 – Resistência à compressão dos Blocos com PET	73
4.2 – Avaliação térmica das alvenarias	77
4.2.1 – Avaliação térmica das alvenarias 1: fonte de calor 1	77
4.2.2 – Avaliação térmica das alvenarias 1: fonte de calor 2	79
4.2.3 – Avaliação térmica das alvenarias 2: Fonte de calor 1	81
4.2.4 –Avaliação térmica das Alvenarias 2 : Fonte de calor 2	83
4.2.5 – Avaliação térmica das alvenarias 3: Fonte de calor 1	85
4.2.6 – Avaliação térmica das alvenarias 3: Fonte de calor 2	87
4.3 – Ensaios de Avaliação Acústica.....	89
4.3.1 – Ensaio 1 para Avaliação Acústica das Alvenarias.....	89
4.3.2 – Ensaio 2 para Avaliação Acústica das Alvenarias.....	93
4.4 – Ensaios de Resistência à compressão das Alvenarias	97
4.5 – Custo unitário por bloco.....	105
CAPÍTULO V.....	107
5 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	107
5.1 – Conclusões.....	107
5.2 – Sugestões para Pesquisas Futuras.....	109
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	110

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resistência à compressão mínima dos blocos, segundo norma NBR 7171.	53
Tabela 2 - Dados granulométricos dos agregados miúdos natural e reciclado.	55
Tabela 3 - Índice de consistência, teor de umidade, retenção de água, ar incorporado e densidade das argamassas.....	60
Tabela 4 - Resultado do ensaio de resistência à compressão dos blocos planos.....	74
Tabela 5 - Resultado do ensaio de resistência à compressão dos blocos com encaixes.....	75
Tabela 6 - Resultado do ensaio de resistência à compressão dos meio blocos	76
Tabela 7 - Resultado da Avaliação Acústica correspondente ao Ensaio 1: alvenarias executadas com blocos em PET.....	90
Tabela 8 - Resultado da avaliação acústica correspondente ao ensaio1: alvenarias executadas com tijolos cerâmicos convencionais	91
Tabela 9 - Resultados do ensaio de compressão nas alvenarias.	104
Tabela 10 - Custo unitário dos blocos em PET.....	106

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Edifício Monadnock.....	27
Figura 2 - Utilização da técnica taipa de pilão para execução de casa popular.....	30
Figura 3 - Utilização da técnica taipa de pilão para execução de casa popular.....	31
Figura 4 - (a) Coliseu Romano, (b) Aqueoduto de Segovia.....	32
Figura 5 - Construções modernas em terra: casa em El Salvador.....	33
Figura 6 - Alvenaria com tijolo cerâmico maciço: ambiente rústico.....	34
Figura 7 - Estrutura química do PET.....	40
Figura 8 - Curva granulométrica dos agregados miúdos natural e reciclado.....	56
Figura 9 - Protótipo do bloco utilizando garrafa PET.....	57
Figura 10 - Bloco plano experimental com garrafa PET.....	57
Figura 11 - (a) Cotas do bloco, (b) Proposta da forma e do bloco utilizando garrafa PET, (c) Blocos com juntas laterais utilizando a garrafa PET.....	58
Figura 12 - (a) Cotas do meio bloco, (b) Proposta para forma do meio bloco, (c) Meio bloco com a garrafa PET cortada ao meio e encaixada.....	59
Figura 13 - (a) Blocos e Meio blocos em PET, (b) Parede executada com blocos em PET, (c) Parede executada com blocos em PET após receber reboco.....	62
Figura 14 - Parede com termopares distribuídos a 20,0 cm das laterais e 1 no centro	63
Figura 15 - (a) Ensaio com a fonte de calor com lâmpadas incandescentes, (b) Ensaio com a luminária com lâmpada fluorescente de 250W.....	63
Figura 16 - Vista frontal do protótipo utilizado como câmara de ensaio, (b) Vista posterior do protótipo, (c) Planta baixa da câmara mostrando a localização da parede durante cada ensaio realizado e o posicionamento da fonte de calor.....	64
Figura 17 - (a) Identificação dos termopares expostos à fonte de calor emitida com distância de 20,0 cm das laterais, (b) Identificação dos termopares opostos à fonte de calor com a distância de 20,0 cm das laterais.....	65
Figura 18 - (a) Paredes internas em Poliuretano da câmara reverberante construída, (b) Paredes externas em EPS da câmara construída.....	66
Figura 19 - Câmara construída para a realização dos ensaios acústicos das alvenarias em estudo.....	66
Figura 20 - Fonte sonora utilizada para a realização dos ensaios de avaliação acústica nas alvenarias em estudo.....	67

Figura 21 - Decibelímetro utilizado para a realização dos ensaios para avaliação acústica.....	67
Figura 22 - Calibrador sonoro.....	69
Figura 23 - Osciloscópio utilizado durante a realização dos ensaios para avaliação acústica.....	69
Figura 24 - Analisador acústico utilizado para os ensaios.....	70
Figura 25 - Posicionamento do equipamento utilizado dentro da câmara.....	70
Figura 26 - Método de ensaio para avaliação mecânica das alvenarias em estudo.	71
Figura 27 - Distribuição dos extensômetros nas alvenarias	72
Figura 28 - Teste de resistência à compressão no bloco plano na posição horizontal.	73
Figura 29 - Teste de resistência à compressão no bloco plano na posição vertical..	74
Figura 30 - Ensaio de resistência à compressão dos blocos com encaixe nas laterais na posição horizontal.	74
Figura 31 - Ensaio de resistência à compressão dos blocos com encaixe nas laterais na posição vertical.....	75
Figura 32 - Ensaio de resistência à compressão nos meio blocos na posição horizontal.....	76
Figura 33 - Ensaio de resistência à compressão nos meio blocos na posição vertical.	76
Figura 34 - Curvas de temperatura ao longo do tempo medida nos termopares instalados nas alvenarias correspondentes ao traço 1: fonte de calor 1	77
Figura 35 - Curvas de temperatura ao longo do tempo medida nos termopares instalados nas alvenarias correspondentes ao traço 1: fonte de calor 2	79
Figura 36 - Curvas de temperatura ao longo do tempo medida nos termopares instalados nas alvenarias correspondentes ao traço 2: fonte de calor 1	81
Figura 37 - Curvas de temperatura ao longo do tempo medida nos termopares instalados nas alvenarias correspondentes ao traço 2: fonte de calor 2.....	84
Figura 38 - Curvas de temperatura ao longo do tempo medida nos termopares instalados nas alvenarias correspondentes ao traço 3: fonte de calor 1	85
Figura 39 - Curvas de temperatura ao longo do tempo medida nos termopares instalados nas alvenarias correspondentes ao traço 3: fonte de calor 2	87
Figura 40 - Variação de intensidade sonora durante a realização dos ensaios da sala na qual foi construída a câmara.	90

Figura 41 - Desempenho acústico das alvenarias correspondentes ao Traço 1.....	91
Figura 42 - Desempenho acústico das alvenarias correspondentes ao traço 2.....	92
Figura 43 - Desempenho acústico das alvenarias correspondentes ao traço 3.....	92
Figura 44 - Câmara reverberante do laboratório de acústica da UFPB.....	93
Figura 45 - Avaliação acústica correspondente ao traço 1: alvenaria com blocos em PET e alvenaria convencional.....	94
Figura 46 - Avaliação acústica correspondente ao traço 2: alvenaria com blocos em PET e alvenaria convencional.....	95
Figura 47 - Avaliação acústica correspondente ao traço 3: alvenaria com blocos em PET e alvenaria convencional.....	96
Figura 48 - Curva carga x deslocamento e tensão x deformação correspondente às alvenarias executadas no traço 1.....	97
Figura 49 - Fissuração e ruptura da alvenaria executada com blocos em PET correspondente ao traço 1.....	98
Figura 50 - Fissuração e ruptura da alvenaria convencional correspondente ao traço 1.	
.....	99
Figura 51 - Curva carga x deslocamento e tensão x deformação correspondente às alvenarias executadas no traço 2.....	99
Figura 52 - Fissuração e ruptura da alvenaria executada com blocos em PET correspondente ao traço 2.....	100
Figura 53 - Fissuração e ruptura da alvenaria convencional correspondente ao traço 2.	
.....	101
Figura 54 - Curva carga x deslocamento e tensão x deformação correspondente às alvenarias executadas no traço 3.....	101
Figura 55 - Fissuração e ruptura da alvenaria executada com blocos em PET correspondente ao traço 3.....	102
Figura 56 - Esmagamento da garrafa PET durante o carregamento das alvenarias.	103
Figura 57 - Fissuração e ruptura da alvenaria convencional correspondente ao traço 3.	
.....	103

SÍMBOLOS E ABREVIAÇÕES

ABIPET	Associação Brasileira da Indústria do Pet
ABMTENC	Associação Brasileira de Materiais e Tecnologias não Convencionais
BNH	Banco Nacional de Habitação
CAGEPA	Companhia de Água e Esgoto da Paraíba
CEF	Caixa Econômica Federal
dB	Decibel
EPS	Poliestireno Expandido
EVA	Etil Vinil Acetato
Hz	Hertz
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
IR	Índice de Reverberação
ISO	<i>International Standardization Organization</i>
LABEME	Laboratório de Ensaios de Materiais e Estruturas
MNPS	Medidor de Nível de Pressão Sonora
OMS	Organização Mundial de Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PET	Politereftalato de Etileno
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PUC	Pontifícia Universidade Católica
RCC	Resíduos da Construção Civil
SFH	Sistema Financeiro de Habitação
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil
TR	Tempo de Reverberação
UFPB	Universidade Federal da Paraíba
USIBEN	Usina de Beneficiamento e Reciclagem

ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está subdividido em cinco capítulos conforme segue:

O Capítulo 1 descreve a introdução, ressaltando a justificativa, apresentando um breve histórico da importância da pesquisa e o objetivo geral bem como os objetivos específicos que foram estabelecidos.

O Capítulo 2 aborda conceitos relacionados à revisão bibliográfica dos temas relevantes para a pesquisa tais como habitação de interesse social, o uso de materiais não convencionais na construção civil, garrafas PET, reciclagem do PET, sistema de coordenação modular e temas relacionados aos ensaios a serem realizados.

O Capítulo 3 relata os materiais e os métodos executados durante o processo de realização da pesquisa, detalhando os materiais utilizados para a confecção dos blocos e os ensaios realizados nas alvenarias em estudo.

O Capítulo 4 apresenta os resultados e análises de todos os ensaios propostos.

No Capítulo 5 são relatadas as considerações finais do trabalho, mencionando as conclusões e discussões sobre a metodologia adotada, bem como sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO I

1 - INTRODUÇÃO

“A pior consequência do desenvolvimento industrial e da produção de materiais, de forma a responder as necessidades crescentes da população mundial, é a deterioração do ambiente devido à poluição de recursos preciosos como o ar, o solo e a água” (GONDAL e SIDDIQUI, 2007).

É praticamente impossível vivermos sem os recursos que a natureza nos oferece, pois são estes elementos que formam o ambiente para a proliferação da vida. Contudo, o homem vem explorando cada vez mais os recursos naturais de um modo tal que a grande maioria das suas ações são atos poluidores.

Poluição é o nome dado a qualquer degradação (deterioração, estrago) das condições ambientais do habitat de uma coletividade humana. É uma perda, mesmo que relativa, da qualidade de vida em decorrência de mudanças ambientais. São chamados de poluentes os agentes que provocam a poluição, como um ruído excessivo, um gás nocivo na atmosfera, detritos que sujam os rios ou praias, etc.

O problema da poluição, portanto, diz respeito à qualidade de vida das aglomerações humanas. A degradação do meio ambiente provoca uma deterioração dessa qualidade, pois as condições ambientais são imprescindíveis para a vida, tanto no sentido biológico como no sentido social.

A preservação e a manutenção das condições naturais do meio ambiente se estabelecem como categorias imprescindíveis para a qualidade de vida das gerações vindouras, bem como para a própria estabilidade do planeta. A destruição do meio ambiente, através dos impactos constantes, pode tornar inexequível a preservação da vida dos seres humanos. Sendo assim, todas as atividades desempenhadas através da ação humana devem ser realizadas de forma que possam ser ambientalmente sustentáveis.

O desenvolvimento tecnológico e científico vem crescendo de forma acelerada nas últimas décadas, como também as ações racionais do ser humano no sentido de colocar em operação ideias que são teoricamente boas para a humanidade. Porém,

ainda é lamentável o descaso com o meio ambiente e com os recursos que necessitamos para viver e viver bem.

Mesmo diante de todo o desenvolvimento tecnológico, a função primordial da habitação é a de abrigo e, com o desenvolvimento de suas habilidades, o homem passou a utilizar materiais disponíveis em seu meio, tornando o abrigo cada vez mais elaborado. Diante de toda a evolução tecnológica, a função primordial do abrigo tem permanecido a mesma, ou seja, proteger o ser humano das intempéries e de intrusos. Independentemente do nível social da população, a função da habitação é a mesma, o que difere é o modo de vida dessa população, isto é, seus hábitos e costumes. Para projetar adequadamente uma habitação para a população de baixa renda é necessário conhecer o modo de vida desta população. Não basta dividir os cômodos com dimensões mínimas e considerar a questão resolvida.

Uma grande dificuldade para resolver a questão da habitação social, é o elevado custo das unidades residenciais que fazem com que as mesmas sejam inalcançáveis às pessoas que possuem baixa renda. Uma das soluções para tal questão é o uso de materiais não convencionais que proporcionam benefícios como: redução do custo final da obra e contribuições para o meio ambiente através da execução de uma obra menos impactante.

A construção civil, de maneira geral, em seus avanços tecnológicos, vem pesquisando várias formas de manter o equilíbrio entre a utilização e a transformação dos recursos naturais com a qualidade de vida do homem.

As garrafas PET são produtos agressivos ao meio ambiente, devido a sua grande quantidade lançada em locais inadequados e sabendo-se que, além de tudo, os polímeros de que são feitas podem levar até 500 anos para serem biodegradados.

Esta pesquisa, então, aborda conceitos relacionados à sustentabilidade na indústria da construção civil, e se volta para a habitação de interesse social visando oferecer uma alternativa para diminuir os impactos ambientais causados pela indústria da construção através do desenvolvimento de um bloco envolvendo a utilização de garrafas PET para gerar alvenarias com desempenho técnico adequado.

Este projeto é mais uma iniciativa de reciclagem das garrafas PET utilizadas em blocos de argamassa para execução de alvenarias de vedação com isolamento termo-acústico. Observe-se que tais alvenarias, embora pensadas para emprego nas habitações de interesse social nesta pesquisa, podem ser empregadas a todo e qualquer ambiente em que se deseje “redução de custo” e “isolamento termo-acústico”.

1.2 - OBJETIVOS

1.2.1 - Objetivo Geral

O presente trabalho teve como objetivo geral estudar o comportamento térmico e acústico de alvenarias elaboradas a partir blocos de argamassa com incorporação de garrafas PET e argamassa de cimento Portland.

1.2.2 - Objetivos Específicos

Para que o objetivo geral pudesse ser atingido foi necessário estabelecer-se alguns objetivos específicos:

- desenvolver bloco de argamassa com incorporação de garrafa PET;
- caracterizar o bloco sob o ponto de vista de resistência à compressão;
- elaborar painéis de alvenarias com os blocos desenvolvidos e com blocos cerâmicos de referência;
- fazer ensaios térmicos comparativos entre as alvenarias com os blocos desenvolvidos e com os blocos cerâmicos;
- fazer ensaios acústicos comparativos entre as alvenarias com os blocos desenvolvidos e com os blocos cerâmicos; e
- fazer ensaios do comportamento mecânico das alvenarias.

1.3 - JUSTIFICATIVA

No último século, grandes mudanças sociais ocorridas em razão das revoluções tecnológicas, evolução industrial, crescimento populacional e urbanização mundial, resultaram em um acentuado consumo de matérias primas e fontes de energia não renováveis, poluição do meio ambiente e geração incontida de resíduos. Como consequência fundamental destas mudanças globais o mundo vem enfrentando uma crise de infraestrutura jamais vista pela humanidade, ocasionada pelo aquecimento global e suas consequências ao meio ambiente, conflito humano e pobreza (SWAMY, 2000).

Ainda segundo Swamy (2000), cabe à indústria da construção civil um papel fundamental na geração e renovação dessa infraestrutura. Deste modo, uma vez que a tecnologia dessa indústria encontra-se intimamente interligada com materiais, energia e recursos, uma degradação ambiental irreversível só poderá ser prevenida através do crescimento sustentável da mesma, cujo alcance se dará à medida que os materiais por ela produzidos e utilizados e as estruturas por ela projetadas e construídas sejam duráveis, de baixo custo e amigáveis ao meio ambiente.

Considerado o setor que mais consome recursos naturais, responsável também por um uso intensivo de energia elétrica, a construção civil gera sérios impactos ambientais e, portanto, é caracterizada como a maior geradora de resíduos de toda a sociedade (JOHN e AGOPYAN, 2010).

O desperdício de materiais, a geração de entulhos e a ausência de um projeto de produção conduzem sempre a uma construção pouco racionalizada, em que as perdas de recursos naturais e humanos são cumulativas.

Contudo, a indústria da construção civil vem passando por um momento positivo, em que suas margens de lucro são incrementadas através do aumento da produtividade devido ao auxílio de alguns fatores como o fim das altas taxas de inflação, os efeitos da globalização da economia, a redução das taxas de juros e o aumento da competitividade entre as empresas, que estão investindo também em unidades residenciais de interesse social devido ao incentivo do Governo Federal em

dar subsídio para a construção de habitações para famílias que ganham até cinco salários mínimos.

Dentre as medidas propostas pelo Governo Federal para reduzir o déficit habitacional está o Programa de Aceleração do Crescimento-PAC que já apresenta resultados: em 2009 o déficit habitacional tendo como base a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios–PNAD, realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE, era de 6,273 milhões de domicílios; já em 2010, houve uma considerável redução do déficit habitacional brasileiro para 5,800 milhões de domicílios (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2010).

De acordo com o Ministério das Cidades, para o PAC 2, a meta é construir dois milhões de moradias até 2014, incluindo desta vez habitações com eficiência energética, através do uso de energia solar para aquecimento da água do chuveiro e nesta etapa o governo pretende estimular o reaproveitamento de água nessas habitações, ajudando desta forma a preservar o meio ambiente; com tais medidas, o próprio governo afirma a necessidade da construção de moradias populares com sustentabilidade.

Nesse contexto, um dos desafios para os pesquisadores da atualidade, na busca pelo desenvolvimento sustentável, seria a investigação de processos para a obtenção de materiais alternativos, que permitam o emprego de resíduos urbanos diversos na fabricação de materiais e produtos duráveis, destinados, por exemplo, à construção de habitações de interesse social que venham atender às condições de redução de custos e aumento da durabilidade.

O baixo investimento, a fácil fabricação dos blocos e seu baixo custo, não só viabilizam seu emprego, como também apresentam um apelo ambiental importante, pois para cada bloco de alvenaria uma garrafa PET é retirada do meio ambiente.

O grande apelo desta pesquisa refere-se, indiscutivelmente, ao aspecto ambiental. Não existem dúvidas de que a redução da presença de lixo no meio ambiente é uma atitude correta do ponto de vista ecológico e, além disso, a possibilidade de se obter os isolamentos térmico e acústico com custo operacional reduzido, reveste-se de um caráter ainda mais nobre, pois este efeito não é conseguido normalmente com emprego de materiais pouco dispendiosos.

CAPÍTULO II

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Habitação de Interesse Social

O comportamento instintivo dos primeiros seres humanos de se proteger das intempéries e dos predadores, encontrar abrigo para descansar e renovar as forças foi o que provavelmente originou a criação do que hoje denominamos de habitações ou moradias.

O “morar” encontra sua definição nos dicionários como o ato de permanecer ou de tardar em um lugar, sendo talvez a manifestação arquitetônica mais antiga e extensiva de que se tem notícia, bem como o artifício que possivelmente nos permitiu sobreviver frente aos desafios do meio, quando os outros animais maiores em tamanho e capacidade física sucumbiram. Em verdade, o ato de abrigar-se apresenta ser uma necessidade biológica, a qual mesmo as espécies ditas irracionais apresentam reações construtivas e peculiares, as quais podem ter inspirado as moradias humanas.

Foi no final do século XIX e início do século XX que as cidades começavam a apresentar características de concentração urbana e os trabalhadores moravam em cortiços, devido à expansão do mercado de trabalho (BONDUKI, 1998). “A deterioração das condições de vida na cidade, provocada pelo afluxo de trabalhadores mal remunerados ou desempregados, pela falta de habitações populares e pela expansão descontrolada da malha urbana, obrigou o poder público a intervir para tentar controlar a produção e o consumo de habitações” (BONDUKI, 1998).

Mesmo com a ação do estado, um fraco desempenho diante do problema habitacional provocou o surgimento da construção espontânea conhecida como autoconstrução. Segundo Bonduki (1998), baratear o custo das moradias ou criar facilidades para construir a casa tornou-se um dos grandes objetivos dos técnicos, sobretudo os arquitetos e os engenheiros, que debateram o tema abordando os mais diferentes enfoques: racionalização e simplificação dos sistemas construtivos; redução do padrão dos acabamentos e dos pés direitos; mudança no código de

obras; estandardização das unidades; normatização dos materiais; combate à especulação imobiliária e viabilização de acesso à periferia.

A aprovação da Lei nº 11.124/05, que institui o Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social, criou o Fundo Nacional de Habitação de Interesse Social e seu respectivo Conselho Nacional possibilita um aperfeiçoamento da política já em vigor, particularmente no que se refere ao subsídio habitacional para famílias de baixa renda.

Grandes investimentos foram aplicados na política habitacional em todo o Brasil, mas mesmo assim não foi solucionada a problemática da habitação de interesse social. Ao contrário, houve um aprofundamento da pauperização das condições de vida urbana.

Em seu conceito primitivo, a habitação surgiu para servir de abrigo ao homem, em um ambiente muitas vezes hostil, evoluindo para uma ideia mais complexa e tornando-se referencial de espaço pertencido, refletindo ainda o grau de desenvolvimento social, tecnológico e econômico de quem o produz. A habitação passa assim a ter como objetivo satisfazer ao homem em suas necessidades físicas, sócio-culturais e econômicas.

Garantir moradia digna, que atenda a todas essas necessidades é ponto crucial no momento em que se buscam formas de promover a inclusão social. Cobrindo esse aspecto e como elemento primeiro de inclusão, encontra-se a Habitação de Interesse Social.

A habitação de interesse social vem definir uma série de soluções de moradia voltada especificamente para a população de baixa renda. Este tipo de moradia visa atender as necessidades de habitação da população de baixa renda nas áreas urbanas, garantindo o acesso à moradia digna com padrões mínimos de sustentabilidade, segurança e habitabilidade.

As desigualdades sócio-econômicas, dentre outras, observadas no Brasil de hoje, nos fazem crer que o completo exercício da cidadania ainda é uma meta distante, principalmente se considerarmos as camadas mais pobres da população.

No artigo 1º da Lei 10.529 de julho de 1995, Habitação de Interesse Social é aquela destinada a atender à população de baixa renda, assim considerados os beneficiários com renda familiar mensal de até cinco salários mínimos. Sob tal enfoque a Habitação de Interesse Social parece ter como único objetivo oferecer um teto com o menor custo possível, gerando em muitas vezes verdadeiras injúrias arquitetônicas e sociais, onde na grande maioria dos casos não supre as necessidades mínimas do morador.

Junqueira e Vita (2002) observam que hoje a aquisição da habitação faz parte do conjunto de aspirações principais de uma parcela significativa da população brasileira, embora venha perdendo importância relativa para a educação, saúde e previdência privada. Esta perda de importância relativa não foi devido à realização da aspiração da moradia pela população, mas em grande parte, devido à deficiência crescente destes serviços públicos.

Segundo Fernandes (2003), a habitação desempenha três funções diversas: social, ambiental e econômica. Como função social, tem de abrigar a família e é um dos fatores do seu desenvolvimento. Segundo Abiko (1995), a habitação passa a ser o espaço ocupado antes e após as jornadas de trabalho, acomodando as tarefas primárias de alimentação, descanso, atividades fisiológicas e convívio social. Assim, entende-se que a habitação deve atender aos princípios básicos de habitabilidade, segurança e salubridade.

Na função ambiental, a inserção no ambiente urbano é fundamental para que estejam assegurados os princípios básicos de infra-estrutura, saúde, educação, transporte, trabalho, lazer, etc., além de determinar o impacto destas estruturas sobre os recursos naturais disponíveis. Além de ser o cenário das tarefas domésticas, a habitação é o espaço no qual muitas vezes ocorrem, em determinadas situações, atividades de trabalho, como pequenos negócios (ABIKO, 1995). Neste sentido, as condições de vida, de moradia e de trabalho da população estão estreitamente vinculadas ao processo de desenvolvimento.

Já a função econômica da moradia é inquestionável: sua produção oferece novas oportunidades de geração de emprego e renda, mobiliza vários setores da economia local e influencia os mercados imobiliários e de bens e serviços. A

construção da habitação responde por parcela significativa da atividade do setor de construção civil.

A habitação é um bem de consumo de características únicas, sendo um produto potencialmente muito durável onde muito frequentemente são observados tempos de vida útil superior a 50 anos (ORNSTEIN, 1992). Por ser um produto caro, as classes menos privilegiadas constituem a maior demanda imediata por habitação, no Brasil (FUNDACÃO JOÃO PINHEIRO, 1995).

Nos dias atuais, dentre os problemas urbanos emergentes, a questão habitacional ganhou mais visibilidade devido ao acelerado crescimento da população em conjunto com problemas econômicos e estruturais, tendo em contraposição o não acompanhamento do crescimento de infraestrutura e serviços urbanos, sendo então a falta de moradia para pessoas de baixa renda um dos maiores desafios econômico-sociais enfrentados no mundo.

2.2 – Alvenaria

Para Sabbatini (1984), a alvenaria é um componente complexo utilizado na construção, constituído por tijolos ou blocos unidos entre si por juntas de argamassa, formando um conjunto rígido e coeso. Ainda segundo Sabbatini (1984), a parede resistente, dimensionada por processo racional de cálculo, deve ser denominada de estrutural.

Segundo Lordsleem Júnior (2002), a palavra alvenaria deriva do árabe *albanna*: aquele que constrói (*banna* significa construir). Quando empregada apenas com a função de vedação, portanto não sendo dimensionada para resistir às cargas além de seu peso próprio, chama-se alvenaria de vedação. Essa alvenaria é caracterizada por elevados desperdícios, adoção de soluções construtivas no próprio canteiro de obras (no momento da realização do serviço) pelo pedreiro ou no máximo pelo mestre, ausência de fiscalização dos serviços, deficiente padronização do processo de produção e ausência de planejamento prévio à execução.

A alvenaria foi o principal método construtivo até o início do século XX e o tijolo é o mais antigo dos materiais de construção manufaturados, ainda em uso (VALDIR JÚNIOR, 1992).

Ramalho e Correa (2003) citam alguns exemplos de obras executadas em alvenaria, desde a antiguidade, destacando as três grandes pirâmides de Guizé, (Quéfren, Quéops e Miquerinos), construídas em alvenaria de blocos de pedra, que datam de aproximadamente 2 600 anos antes de Cristo. Ilustram o Farol de Alexandria como uma obra marcante do ponto de vista estrutural, com altura equivalente a um prédio de 45 pavimentos. Enfatizam o Coliseu como o principal exemplo dos teatros romanos que eram suportados por pórticos formados por pilares e arcos.

Construído em Chicago entre os anos de 1889 e 1891, o Edifício Monadnock tem 16 andares e 65 metros de altura, como mostra a Figura 1. Com paredes de 1,80 metros de espessura na base, sua construção foi considerada na época como limite dimensional máximo para estruturas de alvenaria e calculadas pelos métodos empíricos até então empregados.

Acredita-se que, se esse mesmo edifício fosse dimensionado hoje, suas paredes teriam 30 centímetros de espessura, no térreo, empregando-se os mesmos materiais.

Figura 1 - Edifício Monadnock.
(FRANCO, 1992)



2.2.1 – Alvenaria Estrutural

De acordo com Roman *et al.* (1999), no Brasil, a técnica de cálculo e execução da alvenaria estrutural data do final dos anos 60. A abertura de novas fábricas de materiais e o surgimento de grupos de pesquisas sobre o tema faz com que, a cada dia, mais construtores utilizem e se interessem pelo sistema.

Conforme Franco (1992), a alvenaria estrutural pode ser definida como sendo um processo construtivo cuja característica principal é a existência e aplicação de paredes de alvenaria e lajes enrijecedoras como principal estrutura de suporte de edifícios.

Segundo Camacho (2001), a alvenaria estrutural pode ser classificada quanto ao processo construtivo empregado, quanto ao tipo de unidades ou ao material utilizado, como segue:

- Alvenaria Estrutural Armada: é o processo construtivo em que, por necessidade estrutural, os elementos resistentes (estruturais) possuem uma armadura passiva de aço. Essas armaduras são dispostas nas cavidades dos blocos que são posteriormente preenchidas com micro-concreto (graute);
- Alvenaria Estrutural Não Armada: é o processo construtivo em que nos elementos estruturais existem somente armaduras com finalidades construtivas, de modo a prevenir problemas patológicos (fissuras, concentração de tensões, etc);
- Alvenaria Estrutural Parcialmente Armada: é o processo construtivo em que alguns elementos resistentes são projetados como armados e outros como não armados;
- Alvenaria Estrutural Protendida: é o processo construtivo em que consiste na existência de uma armadura ativa de aço contida no elemento resistente;
- Alvenaria Estrutural de Tijolos ou de Blocos: é o tipo de processo construtivo onde a estrutura convencional é eliminada e utilizam-se alvenarias construídas com tijolos ou blocos estruturais que conduz à importante simplificação do processo; e

- Alvenaria Estrutural Cerâmica ou de Concreto: conforme as unidades (tijolos ou blocos) sejam de material cerâmico ou de concreto.

A redução de custo e o menor prazo de execução são as principais vantagens imediatas quanto ao uso da alvenaria estrutural, fatores que são muito bem-vindos em um mercado imobiliário que está cada vez mais competitivo.

2.2.2 – Alvenaria de vedação

A alvenaria de vedação pode ser definida como a alvenaria que não é dimensionada para resistir às ações além de seu próprio peso. Esta vedação vertical protege o edifício de agentes externos como chuvas e ventos, além de dividir ambientes internos promovendo segurança e conforto dentro de um sistema estruturado. Este processo de fechamento de vãos de paredes é utilizado na maioria das edificações (THOMAZ, 2001).

A principal função de uma alvenaria é de estabelecer a separação entre ambientes, e principalmente a alvenaria externa que tem a responsabilidade de separar o ambiente externo do interno e para cumprir esta função deverá atuar sempre como freio, barreira e filtro seletivo, controlando uma série de ações e movimentos complexos quase sempre muito heterogêneos.

As paredes utilizadas como elemento de vedação devem possuir propriedades e características técnicas que são:

- divisão, vedação e proteção;
- resistência mecânica;
- isolamento térmico e acústico;
- resistência ao fogo;
- estanqueidade; e
- durabilidade.

Para a execução das alvenarias de vedação e estruturais, são necessários alguns componentes que serão apresentados de acordo com a proporção que evoluíram ao longo do tempo, tais como:

(i) Taipa de Pilão: segundo Corona e Lemos (1972), o termo taipa genericamente empregado, significa a utilização de solo (terra) com matéria prima básica de construção. Essa técnica teve origem nos povos árabes e berberes, e recebeu a denominação de taipa de pilão por ser socada (apilada) com auxílio de mão de pilão (PISANI, 2006).

A técnica consiste em armar formas de madeira que são denominadas taipas, do mesmo modo como se faz hoje o concreto, mantendo-as em sua posição por meio de travessas e paus a prumo (VASCONCELOS, 1979). A mistura pode ser feita com terra, areia ou argila e, se necessário, para a correção da terra utilizam-se fibras vegetais ou sintéticas, cal, baba de cupim sintética e cimento (ABC terra, 2009). A Figura 2 apresenta em sequência o processo de fabricação de uma unidade residencial popular utilizando o processo de taipa de pilão.

Figura 2 - Utilização da técnica taipa de pilão para execução de casa popular (ECOCENTRO, 2011).



(ii) Pau a Pique: é uma técnica simples de construção, porém muitas vezes tratada com preconceito devido a sua rústica aparência (BUSSOLOTI, 2008). Este sistema construtivo utiliza gradeados de varas de madeiras preenchidos com barro e é bastante utilizado em construções no interior do País, na qual as travessas são armadas com bambus, que se sobreponem horizontalmente, a cada quinze

centímetros aproximadamente. Eles são amarrados com cipós aos esteios verticais sendo executados com bambu inteiro conforme a Figura 3.

Figura 3 - Utilização da técnica taipa de pilão para execução de casa popular (ECOCENTRO, 2011).



Utilizada no repertório das construções dos séculos XVIII e XIX, período colonial, sobretudo nas paredes internas de tais edificações o pau a pique tornou-se, das técnicas em arquitetura de terra, a mais utilizada, principalmente por dispensar materiais importados.

(iii) Alvenaria de Pedras: de acordo com Pinho (1997), as diferentes tipologias e designações das paredes de alvenaria podem identificar-se de acordo com a função desempenhada e a natureza e características dos materiais e ligantes utilizados.

Este tipo de sistema construtivo corresponde à técnica de cortar e preparar rochas para a construção, com efeitos decorativos e estruturais. É uma das mais antigas técnicas de construção. Grandes obras, como catedrais, pontes e castelos, foram construídos usando esta técnica.

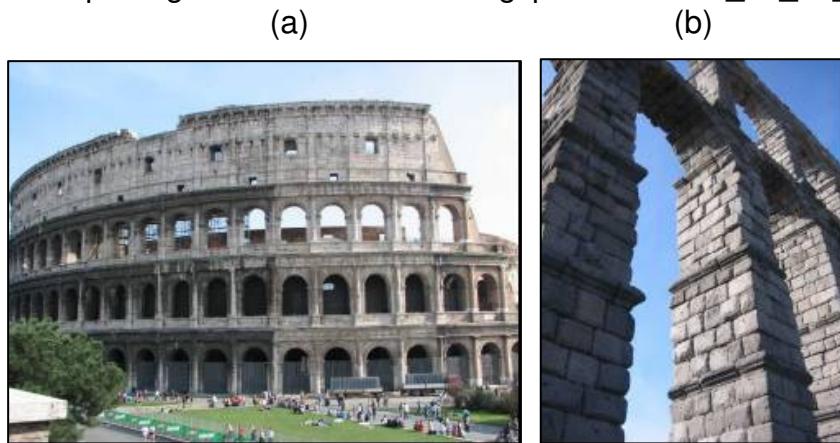
As primeiras paredes em alvenaria de pedra consistiam em um amontoamento grosso de pedras, que podia ou não, ter terra nas juntas (que funcionava como argamassa). O desenvolvimento de ferramentas para trabalhar a pedra, associado ao desenvolvimento da habilidade de trabalho da mesma, ocasionou a evolução da técnica onde as paredes de alvenaria começaram a ter forma poligonal, mais fácil de aparelhar. Esta nova forma das pedras permitia um melhor “fecho” das paredes que

podiam ter juntas com argamassa em cal ou então juntas sem argamassa (juntas secas).

A construção em pedra com junta seca representa uma acentuada evolução na construção em pedra, sendo exemplos dessa evolução o Coliseu Romano e o aqueduto de Segovia conforme a Figura 4.

Figura 4 - (a) Coliseu Romano, (b) Aqueoduto de Segovia.

Fonte: http://engenhariacivildauesc.blogspot.com/2010_11_01_archive.html.



(iv) Adobe: o adobe é uma técnica tradicional executada em terra crua. O processo de fabricação do adobe consiste em amassar a terra, deixá-la descansar e, ainda úmida, colocá-la em formas (geralmente de madeira com formato retangular), deixando secar ao sol (OLIVEIRA, 2005).

Segundo Bussoloti (2008), o adobe possui algumas características principais, dentre as quais se podem destacar:

- baixo consumo energético onde é necessária pouca ou nenhuma energia para transporte, para a transformação e para a reciclagem; pois o uso do material é local;

- a terra é um material micro-fino e poroso, sendo capaz de “respirar” como nenhum outro material, ou seja, o ar fresco chega filtrado ao ambiente interno, enquanto o ar gasto sai pelas paredes;

- a terra é um excelente regulador de umidade, sendo capaz de absorvê-la rapidamente, de armazená-la, e quando a umidade do ar está baixa, a terra a libera no espaço e isso se deve à alta capilaridade de suas moléculas;

- longevidade, pois por sua natureza, o material não entra em ciclo de degeneração;

- isolamento e correção acústica;

- absorção de odores e dissolução de gorduras, pois são propriedades características das argilas; e

- ausência de eletricidade estática, evitando a aderência de poeira às paredes.

Quanto ao conforto ambiental, tem-se como parâmetro o enfoque bioclimático para uma arquitetura agradável ou confortável para seus habitantes. Nesse sentido, as características do adobe, tanto do ponto de vista físico, quanto do ponto de vista cultural e tecnológico, por estar presente na tradição vernacular, contribuem para que essa tecnologia possa resultar em uma arquitetura bioclimática bem adaptada e inserida, enfim, com potencialidades para um bom conforto ambiental (OLIVEIRA, 2005).

Figura 5 - Construções modernas em terra: casa em El Salvador.
(BARBOSA, 2007).



(v) Tijolo cerâmico maciço: os tijolos cerâmicos maciços são indicados para fundações em baldrames, revestimento de poços, câmaras de biodigestores, silos

enterrados, cisternas para armazenamento d' água, fossas sépticas, muros de arrimo e paredes externas ou internas, em que se haja necessidade de melhores características de resistência.

Em edificações residenciais, a alvenaria de blocos maciços aparentes, permite a obtenção de composições arquitetônicas de ambientes rústicos, de agradável visual como mostra a Figura 6. Têm como inconveniente, quando comparada com a alvenaria de blocos furados, o fato de consumirem mais blocos por m^2 , mais argamassa de assentamento e mais mão de obra de colocação. Suas dimensões giram em torno de 6 cm x 10 cm x 20 cm com pequenas variações, de acordo com a região.

Figura 6 - Alvenaria com tijolo cerâmico maciço: ambiente rústico.
(AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2012).



(vi) Tijolo cerâmico furado: é o componente básico da alvenaria, que possui furos prismáticos e/ou cilíndricos, perpendiculares às faces de assentamento e a argila é o material básico de sua fabricação e podem ser encontrados comercialmente com seis, oito ou dez furos, que proporcionam paredes mais econômicas, por apresentarem custo inferior ao do maciço, bem como, sendo maiores e mais leves, propiciam maior rapidez de execução.

Os blocos furados apresentam um bom comportamento quanto ao isolamento térmico e acústico, devido ao ar que permanece aprisionado no interior dos seus furos.

(vii) Blocos de concreto: Ramalho e Correa (2003) afirmam que a alvenaria não-armada de blocos vazados de concreto parece ser uma das técnicas mais promissoras, tanto pela economia proporcionada, como pelo número de fornecedores já existentes.

Ramalho e Correa (2003) enfatizam, ainda, que a alvenaria em blocos cerâmicos vem ganhando força com o aparecimento de fornecedores confiáveis para resistências superiores a 10 MPa.

A abertura de novas fábricas de materiais e o surgimento de grupos de pesquisas sobre o tema faz com que, a cada dia, mais construtores utilizem e se interessem pelo sistema (ROMAN, MUTTI e ARAÚJO, 1999).

As alvenarias executadas em bloco de concreto apresentam vantagens como:

- demandam menor tempo de assentamento e revestimento, economizando mão de obra;
- consomem menor quantidade de argamassa de assentamento; e
- apresentam melhor acabamento e são mais uniformes.

A utilização de alvenarias de blocos de concreto apresenta algumas desvantagens, tais como:

- não permitem corte; e
- os desenhos dos blocos aparecem nas alvenarias externas em dias de chuva, mesmo depois de revestidos, devido à diferença de absorção de umidade entre os blocos e a argamassa de assentamento.

(viii) Blocos sílico-calcários: somente em 1977, tem-se notícia de prédios com 9 pavimentos executados em alvenaria não armada, nesse caso foram executados com blocos sílico-calcários (CAMACHO, 2001).

São fabricados através da mistura de cal virgem, areia fina quartzosa e água. A prensagem é realizada em moldes (alta pressão) e são destinados para a execução de alvenarias estruturais não armadas (auto portante).

Não existe um tipo de bloco que seja mais eficaz que outro; o que há na verdade é uma série de fatores que determinam esta definição. Isso vai depender de região para região, da qualificação da mão de obra empregada, da tipologia da edificação, do mercado financeiro, etc.

Uma constatação é categoricamente afirmada: devem-se elevar os índices de qualidade dos blocos independente do tipo, as empresas devem objetivar a buscar a melhoria dos processos de confecção dos mesmos visando a garantia do produto final bem como a busca do desenvolvimento sustentável.

2.3 - Uso de materiais não convencionais na construção civil

Com o avanço da tecnologia, iniciada desde a época da Revolução Industrial no século XVII, começaram a surgir os materiais conhecidos hoje como convencionais, deixando para trás muitas construções executadas com materiais não convencionais, como a terra por exemplo.

Ainda hoje se podem ver obras construídas pelos romanos que desafiam não só décadas, como séculos, senão os próprios milênios, são obras feitas em uma época em que não se conhecia o aço nem muito menos o cimento Portland, mas apenas o seu princípio fundamental que era o cimento romano.

A indústria da construção civil brasileira tem vivido recentemente uma época muito próspera, cujos aumentos nos ganhos, valorização de seus profissionais e expansão do mercado são só algumas das causas e consequências desta realidade, entretanto, como toda indústria, ela deve estar atenta às demandas da sociedade na qual está inserida.

O uso de materiais alternativos, ou a composição dos mesmos com os materiais convencionais, em construções rurais, pode vir a se constituir em solução adequada para aqueles produtores rurais que não dispunham de recursos financeiros

ou de acesso às novas tecnologias (FREIRE e BERALDO, 2003). No Brasil, o professor K. Ghavami da Pontifícia Universidade Católica – PUC no Rio de Janeiro, pioneiro em estudos sobre materiais não convencionais desde a década de 70, criou nos anos 90 a ABMTENC, Associação Brasileira de Materiais e Tecnologias Não-Convencionais, onde conferências nacionais e internacionais já foram organizadas no sentido de incentivar a difusão da pesquisa com esses materiais.

Através do estudo dos materiais considerados não convencionais, várias tecnologias vão sendo descobertas; já existem mais de 20 grupos de tecnologias de construção com terra, além de suas variantes locais (Houben e Guillaud, 1989); o bambu é outro exemplo que em grande escala pode ser utilizado como material de engenharia, economicamente viável e com forte potencial de industrialização.

A preocupação ambiental tem ocupado, gradativamente, cada vez mais espaço nos problemas dos países, sejam desenvolvidos ou não, e um dos centros de discussões da sustentabilidade é o setor construtivo, pois a cadeia produtiva da construção civil apresenta grandes impactos ambientais em todas as etapas de seu processo: extração de matérias primas, produção de materiais de construção, demolição, etc.

Segundo John *et al.* (2001), toda sociedade seriamente preocupada com esta questão deve colocar o aperfeiçoamento da construção civil como prioridade. Cabe, então, a este setor, dar a sua contribuição e reciclar/reaproveitar parte do lixo que pode gerar materiais e componentes para a própria construção.

No setor habitacional do país, nos últimos anos, observou-se que a aplicação de novos sistemas construtivos com o objetivo de industrializar e pré-fabricar a maior parte dos componentes da construção, tem esbarrado na ausência de referências normativas que permitam avaliar se estes novos produtos atendem às condições mínimas de desempenho (SOUSA, 1998).

Nas últimas décadas a necessidade de promover um desenvolvimento ecológico e sustentável tem motivado cientistas e pesquisadores a desenvolver e utilizar materiais que despendam menor quantidade de energia, que gerem menos resíduos e poluentes, que sejam mais facilmente reincorporados pela natureza e mais acessíveis à população de baixo poder aquisitivo.

Os princípios alternativos para o desenvolvimento ecológico e sustentável devem englobar essencialmente três aspectos: ambientais, econômicos e sociais. Os princípios ambientais devem levar em consideração que além de ser necessário conservar o ecossistema, a vitalidade e a biodiversidade do planeta é fundamental a utilização de recursos renováveis bem como a minimização do uso dos recursos não renováveis, sendo indispensável a redução da poluição e dos impactos ambientais; os aspectos econômicos devem sobretudo promover a distribuição equitativa de custos e benefícios, objetivando o apoio às economias locais, onde em termos gerais assegura o equilíbrio econômico da sociedade evitando as desigualdades; já os aspectos sociais diante do desenvolvimento sustentável, objetivam a melhoraria da qualidade de vida da sociedade, promovendo a equidade social entre todos os cidadãos.

A engenharia sustentável pressupõe a implementação do conceito de sustentabilidade, portanto terá de responder a este conceito, satisfazendo as necessidades atuais e futuras, levando em consideração os aspectos essenciais da sustentabilidade: o ambiental, o econômico e o social.

De acordo com Barbosa (2007), pode-se dizer que os materiais de construção não convencionais são ecologicamente corretos, porque são materiais tradicionais disponíveis na natureza, muitos dos quais renováveis, e como no caso do aproveitamento dos resíduos, contribuem para livrar o ambiente de seu incômodo; envolvem muito menor energia que os industrializados em seu processo de produção; em geral são não poluentes; muitos incorporam-se novamente à natureza sem maiores danos; podem ser obtidos em processos não centralizados; podem gerar tecnologias apropriadas; podem levar a um menor custo construtivo; podem fazer uso intensivo de mão de obra e podem, enfim, ajudar na redução do problema da habitação nos países em desenvolvimento.

O adjetivo sustentável surgiu da necessidade de conciliar o crescimento da produção de bens e serviços, destinados ao bem estar das pessoas, com a preservação ambiental da Terra (HOUTHAUSEN, 2002).

A concepção de uma habitação sustentável pressupõe, basicamente, a compatibilização de dois grupos de variáveis: em um deles estão as variáveis

relativas à produção e ao funcionamento da habitação; no outro, estão aquelas variáveis relacionadas com a preservação do meio ambiente (COSTA FILHO *et al.*, 2000). A escolha dos materiais e dos sistemas construtivos deve ter como referência a sua influência no meio ambiente e uma análise do ciclo de vida, que faz com que as indústrias passem a considerar as questões associadas aos sistemas de produção tais como insumos, matérias primas, manufatura, distribuição, uso, disposição, reuso e reciclagem.

Recentemente, podem-se observar inovações tecnológicas que tentam acompanhar os avanços alcançados em outros países e em outros tipos de indústria. A arquitetura e a engenharia desde os seus primórdios, tem utilizado técnicas de fabricação que vão desde os sistemas artesanais, que empregam basicamente matérias primas com pouco ou nenhum beneficiamento, até sistemas altamente industrializados, onde novos conceitos de produção, design, pesquisa e desenvolvimento são incorporados.

Segundo Andrade e Silva (2000), uma tendência expressa nos últimos anos, no campo da habitação popular no Brasil, é a busca da qualidade na construção. Esta tem como um elemento estratégico a qualidade do projeto, repercutindo no desempenho do produto final, na simplificação do processo construtivo e contribuindo para a redução do custo.

2.4- Garrafas PET

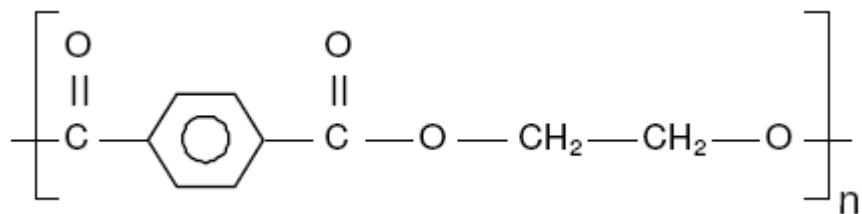
O politereftalato de etileno (PET) é um polímero termoplástico, o mais resistente para a fabricação de embalagens com características tais como: transparência, brilho, resistência térmica, alta resistência mecânica a impactos, alta resistência química e é 100% reciclável, com consumo muito grande nas indústrias de fibras resistentes, monofilamentos, filmes resistentes para gravadores, estampagem metálica em plásticos, garrafas, etc.

Conforme Provenzano (2006), o PET, devido às suas características, incluindo o peso muito menor que o das embalagens tradicionais, mostrou ser o recipiente ideal para a indústria de bebidas em todo o mundo, reduzindo custos de transporte e

produção, oferecendo ao consumidor um produto substancialmente mais barato, seguro e moderno.

O PET, representado pela Figura 7, foi desenvolvido em 1941 pelos químicos ingleses Whinfield e Dickson (BELLIS, 2005), mas as garrafas produzidas com este polímero só começaram a ser fabricadas na década de 70, após cuidadosa revisão dos aspectos de segurança e meio ambiente. No começo dos anos 80, os Estados Unidos e o Canadá iniciaram a coleta destas garrafas, reciclando-as inicialmente para fazer enchimento de almofadas.

Figura 7 - Estrutura química do PET.
(MANO e MENDES, 1999).



Com a melhoria da qualidade do PET reciclado, surgiram aplicações importantes, como tecidos, lâminas e garrafas para produtos não alimentícios. Posteriormente, já na década de 90, o governo americano autorizou o uso deste material reciclado em embalagens de alimentos. O PET chegou ao Brasil em 1988 e seguiu uma trajetória bem semelhante ao resto do mundo, sendo utilizado primeiramente na indústria têxtil. Apenas em 1993 passou a ter forte expressão no mercado de embalagens, notadamente para os refrigerantes. Atualmente o PET está presente nos mais diversos tipos de produtos.

No tocante às vantagens, o produto pode ser reciclado várias vezes sem que a qualidade do produto final seja alterada e, sendo moído, é 100% reciclável, promove excelente barreira para gases e odores, é leve e reduz o custo do transporte de bebidas, refletindo no preço final. No caso da embalagem de 2 litros, a relação entre o peso da garrafa (cerca de 54 g) e o conteúdo é uma das mais favoráveis entre os descartáveis (ABIPET, 2010).

Quanto às desvantagens, o PET descartado de forma errada, aparece nos rios, praias, lixões e ruas; entope galerias pluviais e enche os aterros sanitários; quando empilhado nas encostas, pode causar deslizamentos e não pode ser transformado em adubo (ABIPET, 2010).

A demanda de resina de PET no Brasil em 2009 foi de 522 mil toneladas de acordo com a ABIPET (2010), sendo a indústria têxtil o setor que mais utiliza o PET reciclado. A demanda pela resina PET deverá manter um cenário positivo, nos próximos anos, com expansão média de 7,7% a.a. de 2011 a 2013. As perspectivas favoráveis para a resina consideram a continuidade do processo de expansão do consumo, amparado pelo aumento na renda real das famílias no período, além da manutenção do processo de aprofundamento e diversificação do uso da resina. Ainda que não estejam compreendidos no horizonte da análise, vale mencionar que os megaeventos esportivos, no caso a copa do mundo, que deverá ocorrer no País em 2014 e 2016 atuam como um fator de estímulo ao crescimento do consumo da resina. Isso porque, em anos de realização destes tipos de eventos, a expectativa é de que o consumo de alimentos e bebidas principal e mais tradicional setor demandante por PET apresente expansão.

Os polímeros, pelo fato de possuírem uma vida muito longa, acabam causando sérios riscos para o meio ambiente quando descartados. As garrafas em PET são responsáveis por cenários de poluição dos mananciais de água próximos aos perímetros urbanos. Nos lixões, ocupam grandes volumes e dificultam a compactação nos aterros sanitários.

O uso das garrafas PET na indústria da construção civil proporciona algumas vantagens como: redução do volume de lixo nos aterros sanitários e melhoria nos processos de decomposição de matérias orgânicas nos mesmos, pois as garrafas PET prejudicam a decomposição por impermeabilizarem certas camadas de lixo impedindo que gases e líquidos circulem.

2.4.1 - Reciclagem do PET

Um dos temas ambientais mais destacados na agenda de discussão sobre o meio ambiente refere-se aos resíduos sólidos, sobretudo nos grandes centros urbanos. Diferentes estudos e publicações científicas têm enfocado variados fenômenos relacionados à geração, coleta, disposição e reciclagem do lixo urbano (BERTHIER, 2003).

Em uma economia globalizada, na qual o ambiente competitivo é cada vez mais acirrado, as empresas necessitam de vantagens diferenciadas para permanecerem no mercado, a adequação em relação à reciclagem é uma delas.

A reciclagem tornou-se um tema importante nos anos recentes devido ao seu uso nos mais variados aspectos da vida moderna. Assim, o mercado passou a ser mais exigente e privilegiando a escolha de produtos de companhias que utilizem tecnologias de produção e métodos de gerenciamento que preservem o meio ambiente.

A entrada em vigor do conjunto de normas ambientais, ISO 14000, que é uma série de normas desenvolvidas pela *International Standardization Organization* (ISO) que estabelecem diretrizes sobre a área de gestão ambiental dentro de empresas, veio fortalecer ainda mais essa preocupação com o meio ambiente. Deve-se ressaltar também o aspecto financeiro que envolve a questão da reciclagem, pois, em um futuro breve, a falta de preocupação com o meio ambiente pode vir a trazer enormes prejuízos às companhias, seja financeiro ou de marketing negativo.

Segundo Leite (2003), quanto maior o nível sócio-econômico e consequente poder aquisitivo do cidadão, maior o uso de descartáveis e quantidade de polímeros no lixo. A tecnologia proporciona a utilização de polímeros para uma melhora na qualidade de vida, mas que também resulta em grande problema com a quantidade de resíduos gerados.

Leite (2003) ainda cita que um dos piores problemas originados no descarte de materiais plásticos no Brasil é o espaço que ocupam nos aterros sanitários. Embora representem algo em torno de 10% do peso total do lixo, ocupam até 20% de seu volume, contribuindo também para o aumento dos custos de coleta, transporte e

descarte final dos resíduos urbanos. Outro problema sério a ser levado em consideração é de o plástico (em geral) ser de difícil decomposição, por isso a reciclagem é considerada uma das alternativas mais importantes dentro do conceito de desenvolvimento sustentável definido pela Organização das Nações Unidas (ONU).

Em 2011, o Brasil aprovou após duas décadas de discussões a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Essa política procura organizar a forma como o país trata o lixo, incentivando a reciclagem e a sustentabilidade. Com a aprovação da política, foi elaborado o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, que contempla conteúdos como diagnóstico da situação atual dos resíduos sólidos, a proposição de cenários, incluindo tendências internacionais e macroeconômicas, metas de redução, reutilização, reciclagem, entre outras, com vistas a reduzir a quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada, o aproveitamento energético dos gases gerados nas unidades de disposição final de resíduos, metas para a eliminação e recuperação de lixões, associadas à inclusão social e à emancipação econômica de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis, programas, projetos e ações para o atendimento das metas previstas, normas e condicionantes técnicas para o acesso a recursos da União, para a obtenção de seu aval ou para o acesso a recursos administrados, direta ou indiretamente, por entidade federal, quando destinados a ações e programas de interesse dos resíduos sólidos, medidas para incentivar e viabilizar a gestão regionalizada dos resíduos sólidos, diretrizes para o planejamento e demais atividades de gestão de resíduos sólidos das regiões integradas de desenvolvimento instituídas por lei complementar, bem como para as áreas de especial interesse turístico, normas e diretrizes para a disposição final de rejeitos e, quando couber, de resíduos e meios a serem utilizados para o controle e a fiscalização, no âmbito nacional, de sua implementação e operacionalização, assegurado o controle social.

A redução da geração de resíduos sólidos urbanos representa um dos pontos abordados no Plano Nacional de Resíduos Sólidos que apresenta diretrizes e estratégias para o aumento da reciclagem de resíduos sólidos através do incentivo da reciclagem no Brasil, tanto por parte do consumidor como por parte do setor empresarial, visando a criação de promoções e ações compatíveis com os princípios da responsabilidade compartilhada dos geradores de resíduos e da logística reversa.

Na Europa há mais de oito anos e mais recentemente nos EUA há o reembolso financeiro das embalagens em PET onde tal ato é considerado um símbolo de economia financeira e respeito ao meio ambiente, principalmente na Dinamarca, na qual 100% do mercado é de retornáveis (SANTOS,1996). As embalagens que são recolhidas são reutilizadas e recicladas.

No Brasil, a maior parte do PET oferecido para reciclagem provém de catadores, que fazem um trabalho de varredura pelas ruas e lixões e de organizações não governamentais que se estruturam e tornou-se nos últimos anos alvo de disputa entre catadores, se transformando em objeto de interesse por parte de empresas recicadoras e transformadoras, estratégia preferencial de embalagem para corporações aplicadoras e presença constante no cotidiano dos consumidores.

Ora visto como receptáculo de produtos avidamente consumidos, ora como grande vilão dos problemas ambientais e ora como atrativa fonte de renda para os envolvidos em sua reciclagem, o PET coloca importantes desafios para o entendimento da complexa cadeia de reciclagem e as possibilidades de avanço de práticas e políticas de gestão ambiental.

A Reciclagem do PET além de colaborar com a preservação ambiental, também é uma atividade que alcança plenamente os três pilares do desenvolvimento sustentável, tais como a geração de benefícios sociais, devido à diversidade de usos como na indústria têxtil e automobilística, dentre outras atividades que mantém muitas empresas que levam PET reciclado gerando ainda a criação de inúmeras cooperativas, permitindo que a rentabilidade destas permaneça em patamares aceitáveis por garantir remuneração aos trabalhadores catadores; proporciona benefícios econômicos por ser a indústria recicladora do PET no Brasil algo economicamente viável, sustentável e funcional gerando impostos, empregos, renda e todos os demais benefícios de uma indústria de base sólida de modo a permitir o planejamento de novos investimentos incentivados pela criação de novos usos para o PET reciclado; a reciclagem do PET proporciona também benefícios ambientais devido ao fato de sua matéria prima reciclada substituir material virgem em muitos outros produtos, nos segmentos mais diferentes, como construção civil, tintas, produção de automóveis e caminhões ou telefones celulares.

Não bastasse o reaproveitamento de centenas de milhares de toneladas de embalagens que seriam indevidamente destinadas, a reciclagem de PET economiza recursos naturais, água e energia.

2.5 – Transferência de Calor entre o meio e o ambiente construído

ASTM C976 (American Society for Testing and Materials - Test for Thermal Performance of Building Assemblies by Means of a Calibrated Hot Box) é um método de teste padrão para a obtenção de desempenho térmico, que determina testes térmicos para elementos de construção tais como paredes em estado estacionário, transitório, e em estado variável (dinâmico) bem como suas condições de temperatura e foi utilizada como base para a execução dos ensaios térmicos nas alvenarias.

De acordo com Lamberts *et al.* (1997), no ano de 1992, cerca de 42% da energia elétrica consumida no Brasil foi destinada para edificações residenciais, comerciais e públicas. As residências respondiam por 23% do consumo de energia nacional – este foi o setor responsável pelo maior crescimento nos últimos anos (triplicou entre 1990 e 1997), enquanto os setores comercial e público respondiam respectivamente por 11% e 8%.

Mesmo abundantes, os recursos hidroelétricos do país não são limitados, além do que, a produção de energia necessita de grandes investimentos. Assim, se forem mantidos os índices de crescimento do consumo nos setores residencial, comercial e público, novas crises de abastecimento poderão ocorrer. Considerações sobre conservação de energia (eficiência energética) serão indispensáveis na concepção de novos projetos, inclusive no que diz respeito às especificações de materiais.

Uma edificação absorve energia térmica do meio externo através dos mecanismos de radiação (forma de transmissão de calor que não necessita de um meio e propagação, pois a energia é transmitida na forma de ondas eletromagnéticas) e convecção (a propagação do calor se dá através do movimento do fluido envolvendo transporte de matéria).

A temperatura da face externa do ambiente construído eleva-se em relação à temperatura inicial e, como a temperatura da face interna é menor, ocorrerá um fluxo de calor por condução na direção desta última. A intensidade desse fluxo dependerá, entre outros fatores, da espessura da parede, da capacidade calorífica do material, de sua densidade e de sua condutividade térmica. Em consequência da elevação da temperatura, haverá um fluxo de calor da face interna da parede para o ambiente interno, através dos mecanismos de radiação e de convecção (BEZERRA, 2003).

As propriedades dos materiais cimentícios são parâmetros importantes na caracterização do comportamento térmico de componentes aplicáveis nas edificações. A massa específica aparente, a condutividade térmica e o calor específico são as características termofísicas mais relevantes, havendo forte relação entre as três propriedades. Em geral, um alto valor do calor específico é desejável devido a habilidade de reter calor e um baixo valor da condutividade térmica é necessário para propiciar o isolamento térmico (XU e CHUNG, 2000).

Observando o aumento da temperatura devido ao aquecimento global e também a busca pela melhoria da eficiência energética, o setor da construção civil estuda mais alternativas para manter ou melhorar o conforto térmico, seja no ambiente de trabalho ou em unidades residenciais. Uma delas é analisar termicamente os materiais que compõem a envoltória da edificação.

A utilização de resíduos como matéria prima na fabricação de elementos construtivos apresenta vantagens do ponto de vista técnico (por exemplo, desempenho térmico) e também dos pontos de vista econômico e ambiental.

2.6 – Desempenho Acústico em edificações

No Brasil, a evolução do conceito de desempenho efetivou-se na década de 80, principalmente através de trabalhos realizados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) para o BNH, e posteriormente para a Caixa Econômica Federal (CEF), sucessora do BNH.

Com a publicação da Norma NBR 15575-1 - Desempenho de edifícios habitacionais de até 5 pavimentos (ABNT, 2008), em maio de 2008, a questão do desempenho dos edifícios assumiu um papel de destaque na área da construção

civil. O principal desafio da elaboração dessa norma foi criar um ambiente técnico mais acessível ao setor da construção, que englobasse as várias vertentes do desempenho, de forma a mensurá-lo de maneira objetiva, dentro de determinadas condições de exposição e uso e, além disso, de forma viável em termos de técnica e economia.

Os altos níveis de ruído urbano têm se transformado, nas últimas décadas, em uma das formas de poluição mais preocupantes e que atingem o maior número de pessoas (FERNANDES, 2002).

A poluição sonora é hoje, segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), o tipo de poluição que atinge o maior número de pessoas no mundo, depois da poluição do ar proveniente de emissões gasosas e da poluição da água (W.H.O., 2003).

O crescimento das cidades e o aumento no número de automóveis que trafegam no perímetro urbano das metrópoles vêm contribuindo para elevar ainda mais a emissão do ruído no meio urbano.

2.6.1 – Conceitos Acústicos

A Norma ISO 140 (*Acoustics – Measurements of sound insulation in buildings and of buildings elements*) é um conjunto de doze normas técnicas que dizem respeito ao isolamento acústico de edificações e prevê em laboratório a medição dos índices de isolamento sonoro de elementos construtivos como paredes, portas, janelas, etc.

A ISO 140 – 3 (*Acoustics – Measurements of sound insulation in buildings and of buildings elements – Part 3: Laboratory measurements airborne sound insulation of buildings elements*) é a parte dessa norma indicada para especificar as medições de isolamento sonoro por ruídos aéreos, realizadas em laboratório, de elementos como paredes, janelas, portas, pisos, vidros, etc, servindo de referência para os laboratórios brasileiros. Está constituída de nove itens, cujos conteúdos podem ser sucintamente descritos como:

- Item 1: explica os objetivos e utilizações;
- Item 2: cita normas usadas como referência;
- Item 3: define termos e conceitos utilizados;
- Item 4: estabelece requisitos para os equipamentos;
- Item 5: descreve as condições necessárias para as salas e instalação dos elementos ensaiados;
- Item 6: trata dos procedimentos de teste e avaliação;
- Item 7: fala sobre a precisão requerida;
- Item 8: mostra como devem ser expressos os resultados; e
- Item 9: exemplifica o que deve constar no laudo técnico.

De acordo com Gerges (1992), o ruído é, por definição, qualquer som indesejável, desagradável ou perturbador e varia na sua composição em termos de frequência, intensidade e duração. Pode-se dizer, ainda, que ruído é um som desorganizado, constituído de um conjunto de vibrações de frequências diversas, não harmônicas e irregulares.

O ruído é um dos principais causadores da redução da qualidade de vida nas cidades, sendo que as principais fontes de ruído no ambiente urbano são, o tráfego, obras da construção civil, atividades industriais e comerciais, ruídos da vizinhança e atividades temporárias, tais como: competições esportivas, espetáculos, festas, etc.

A maior parte das fontes sonoras nas habitações produz concomitantemente ruídos aéreos e ruídos transmitidos por vibrações nos sólidos. Pode-se reduzir esta transmissão conhecendo-se a natureza do som, sua forma de transmissão e o desempenho dos materiais a serem empregados.

Segundo a NBR 12179 (ABNT, 1992), som é toda e qualquer vibração ou onda mecânica que se propaga através de um meio elástico produzindo no homem a sensação de ouvir.

Conforme Gerges (1992), o som se propaga por via aérea (quando o meio de propagação é o ar) e/ou por via estrutural (quando o meio de propagação é algum tipo de corpo sólido).

Segundo Méndez (1994), a presença do som produz no ar pequenas variações de pressão que se sobrepõem à pressão atmosférica. Essas variações de pressão são conhecidas como “pressão sonora”.

Gerges (2000) explica que a taxa de ocorrência da flutuação completa de pressão sonora é conhecida como frequência. Ela é dada em ciclos por segundo, ou Hertz (Hz). Na faixa de frequências de 20 Hz a 20 000 Hz, as ondas de pressão no meio podem ser audíveis.

De acordo com Méndez (1994), a intensidade de um som depende do valor que tenha sua pressão sonora.

Sendo o som considerado fraco aos ouvidos do homem, o mesmo possui uma pressão sonora da ordem de 20 μPa em 1 kHz.

A essa mínima pressão sonora se denomina “limiar da audição”, sendo o valor a partir do qual o ser humano é capaz de ouvir. O “limiar da dor” é uma pressão sonora muito alta, da ordem de 20 Pa. A relação entre a máxima e a mínima pressão sonora que o ouvido pode perceber, é de 1 000 000 de vezes.

Conclui-se, então, que todos os sons que o ser humano ouve têm pressões sonoras compreendidas entre estes limites.

Devido ao grau de dificuldade para expressar graficamente números de ordens de grandeza tão diferentes para uma mesma escala linear, usa-se a escala logarítmica.

Conforme Gerges (2000), um valor de divisão adequado a esta escala é \log_{10} , também chamado Bel. No entanto, o Bel é um valor de divisão de escala considerado grande e usa-se então o decibel (dB) que é um décimo do Bel. Desta forma, 1 Bel equivale a 10 decibéis.

De acordo com Henrique (2002) a palavra acústica tem origem na palavra grega *akouein*, que significa ouvir, no entanto, hoje o seu significado transcende em muito os sons que se ouve. Acústica é uma ciência, um ramo da física por meio do qual se investigam as vibrações mecânicas e os fenômenos ondulatórios em um meio material elástico. De forma simplificada, pode-se dizer que a acústica estuda o som desde sua geração, propagação até a recepção do sinal sonoro.

Segundo Baring (1988), o termo isolamento acústico refere-se ao nível de perda de transmissão do conjunto dos elementos construtivos da edificação tais como paredes, lajes, janelas e portas.

Uma das formas para determinar algumas das principais características acústicas dos materiais, como por exemplo, o coeficiente de absorção de um determinado material é utilizar uma câmara reverberante.

Segundo Santos e Beroli (2008), salas especiais que possuem características físicas que propiciam um campo reverberante difuso são comumente chamadas de Câmaras Reverberantes.

As Câmaras Reverberantes são utilizadas para determinação de algumas das principais características acústicas de materiais como a absorção sonora e difusidade ou espalhamento.

Ainda segundo Santos e Beroli (2008), as câmaras reverberantes normalmente possuem paredes rígidas e a superfície interna altamente reflexiva, com coeficiente de absorção sonora menor que 0,06 (ISO 374, 1999) para a faixa de frequência de medição desejada. As paredes de grande parte das câmaras reverberantes não são paralelas evitando assim a ocorrência de ondas estacionárias.

O campo sonoro reverberante consiste de ondas sonoras que foram refletidas por várias superfícies antes de chegar até os ouvidos do receptor.

Para Beranek (2004), o campo reverberante consiste de todas as reflexões que chegam até o ouvinte após 80 milissegundos da chegada do som direto. As ondas sonoras viajam longas distâncias entre reflexões e são progressivamente reduzidas em nível sonoro em relação ao som direto e primeiras reflexões (CAVANAUGH e WILKES, 1999).

Se os sons reverberantes chegarem de diversas direções e não forem exatamente os mesmos nos dois ouvidos do receptor, ele irá aumentar a sensação de espacialidade acústica na sala. Se o campo sonoro reverberante tiver componentes baixos ou baixas frequências intensas, irá aumentar a sensação de calor na sala. Se ele tiver altas frequências intensas ou componentes agudos, irá contribuir com a percepção do brilho (CAVANAUGH e WILKES, 1999).

Segundo Marco (1986), a existência de fechamentos em um recinto dá origem aos sons refletidos, e implica no surgimento da intensidade reverberante (I_r). O fenômeno chama-se reverberação e incide de três modos na distribuição do som no recinto:

- (i) como a absorção dos diferentes materiais é seletiva com relação à frequência, o espectro do som reverberante não coincide com o do som direto;
- (ii) uma vez que os materiais absorventes não serão distribuídos homogeneamente no recinto, a distribuição espacial do som não é homogênea; e
- (iii) o som reverberante persiste certo tempo no local, depois da fonte deixar de emitir o som.

Para Marco (1986), como a absorção dos materiais depende da frequência do som, a quantidade de som reverberante e o tempo de reverberação (TR) também dependerão dela.

Esse TR é definido como o tempo que um som demora para diminuir a sua intensidade à sua milésima parte ou reduzir em 60 dB o seu nível a partir do momento em que cessa a fonte sonora, de acordo com Díaz e Pedrero (2007) um fator importante da acústica arquitetônica.

Uma parcela importante que não deve ser negligenciada, pois pode ser responsável por grande parte da energia acústica transmitida através do paramento de separação, é a das imperfeições construtivas sendo elas juntas, canalizações ou até frestas (ARIZEMENDI, 1980).

Certos materiais têm a capacidade de formar uma barreira, impedindo que a onda sonora ou ruído passe de um recinto a outro. Em grande parte dos casos, deseja-se impedir que o ruído alcance o homem.

2.7 – Avaliação de Resistência Mecânica em Blocos e Paredes

Existem vários fatores que influenciam a resistência à compressão da alvenaria, sendo um dos fatores principais a resistência dos blocos, pois a resistência da alvenaria à compressão cresce consideravelmente com a resistência dos mesmos.

A associação de vários materiais ao concreto tem se mostrado um caminho eficaz na melhoria das propriedades mecânicas tais como resistência à compressão e à tração, durabilidade e propriedades químicas (FOWLER, 1998).

Corrêa e Ramalho (2003) descrevem que a determinação da resistência da peça (bloco) é de grande importância, pois muitos fatores são determinados a partir desse parâmetro experimental, que é regido pela NBR 15.270, para blocos cerâmicos. A resistência do bloco está intimamente ligada à sua forma e composição, e influencia diretamente na resistência da parede.

Considerando que o principal esforço atuante nas alvenarias é o de compressão, embora elas também sejam submetidas a esforços de tração, flexão e cisalhamento, numerosas pesquisas têm sido realizadas tentando estabelecer de maneira analítica a resistência à compressão da alvenaria em relação à resistência dos blocos e prismas.

Page e Shrive (1988) afirmam que o ensaio em paredes é a melhor forma de ilustrar uma situação real de projeto, já que as unidades constituintes possuem características diferentes, em diferentes direções, graças à anisotropia das peças e da influência das juntas, mas esses ensaios se tornam onerosos e demorados. Para minimizar, são realizadas relações entre blocos e paredes, que avaliam esses valores. Os autores afirmam ainda que a resistência à compressão diminui com o aumento da altura do corpo de prova; onde a ruptura da unidade é causada pela iniciação e propagação de fissuras.

Tanto os blocos de vedação quanto os blocos estruturais são classificados de acordo com sua resistência à compressão definida pela NBR 7171/92.

Os limites de resistência mínima estabelecidos pela norma NBR 7171/92 se apresentam na Tabela 1.

Tabela 1 - Resistência à compressão mínima dos blocos, segundo norma NBR 7171.

Tipo	Categoria	Resistência (MPa)	
		A	1,5
De vedação	B		2,5
Portante	C		4
	D		7
	E		10

Fonte: ABNT (1983b)

CAPÍTULO III

3 – MATERIAIS E MÉTODOS

Apresentam-se a seguir os materiais empregados neste trabalho e a metodologia que foi utilizada.

3.1 - Materiais

Os materiais usados foram os que se seguem.

– Cimento Portland

O cimento utilizado foi o cimento composto com filler calcário, CPII F 32, fabricado pela Lafarge, no Estado da Paraíba.

– Cal hidratada

Foi usada cal do tipo CH I para a execução do assentamento de todas as alvenarias convencionais e não convencionais.

– Blocos Cerâmicos

Os blocos cerâmicos de 8 furos utilizados para a execução das três paredes em alvenaria convencional foram fornecidos pela Cerâmica Cincera, cuja fábrica está localizada em Santa Rita-PB.

– Água

Utilizou-se água potável fornecida pela Companhia de Água e Esgoto do Estado da Paraíba (CAGEPA).

– Garrafas PET

Para a obtenção das garrafas PET para a execução dos blocos foram programadas coletas periódicas semanais em algumas lanchonetes da Cidade de João Pessoa. Elas eram de uma marca específica de refrigerante, para que não

houvesse influência das dimensões, visto a variedade de garrafas existentes no mercado.

– Agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado foi obtido na Usina de Beneficiamento e Reciclagem de Resíduos de Construção (USIBEN), oriundo de demais agregados reciclados.

Uma vez que não existe norma pertinente à utilização de agregado reciclado em argamassa, utilizou-se como parâmetro a norma que se refere a agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural (NBR 15116, 2004).

São apresentados na Tabela 2, os resultados dos ensaios para caracterização dos agregados oriundos da USIBEN comparando-os com os agregados naturais.

Tabela 2 - Dados granulométricos dos agregados miúdos natural e reciclado.
Dados Granulométricos

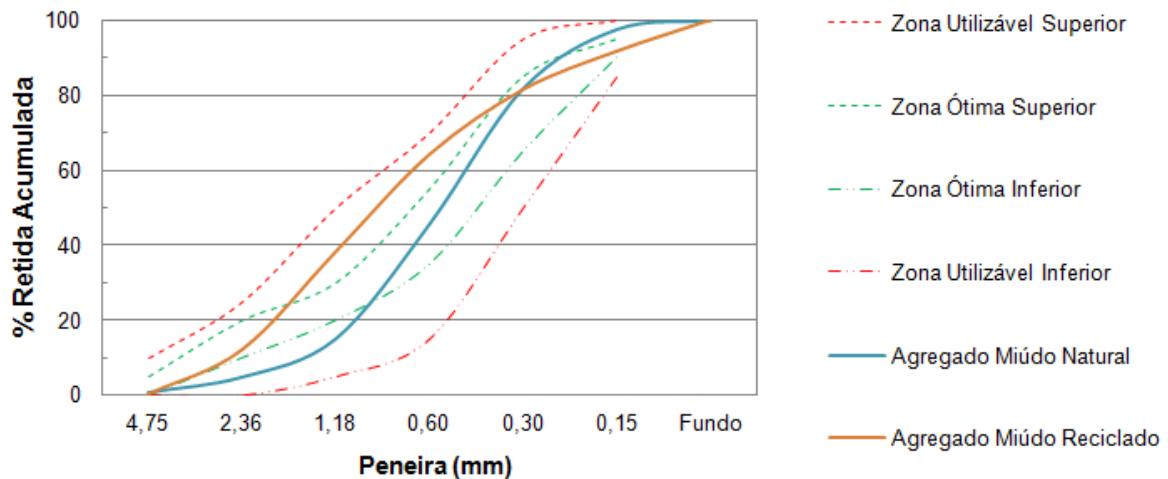
Descrição	Agregado Miúdo Natural	Agregado Miúdo Reciclado
Dmáx. Característico(mm)	2,36	4,75
Dmáx. Característico(mm)	2,45	2,87
Zona granulométrica (NBR 7211:2005)	Zona ótima ($2,2 \leq 2,45 \leq 2,90$)	Zona ótima ($2,2 \leq 2,45 \leq 2,90$)

Pode-se observar a partir dos resultados obtidos (Tabela 02), que não há uma diferenciação considerável das características dos materiais, no que diz respeito ao módulo de finura e dimensões máximas dos agregados.

Na Figura 8 são apresentadas as curvas granulométricas dos agregados, bem como as zonas ótimas e limites inferiores e superiores. Tais curvas são importantes, pois suas características influenciam diretamente na trabalhabilidade do concreto em

seu estado fresco. Sabe-se que os agregados reciclados apresentam, devido ao seu processamento e ao tipo de mandíbula do britador, formas angulares e superfícies mais porosas que os agregados naturais.

Figura 8 - Curva granulométrica dos agregados miúdos natural e reciclado.



Observa-se que há pouca diferenciação em relação aos agregados naturais e reciclados. Os agregados naturais encontram-se dentro da faixa de limite ótimo. Contudo, os agregados reciclados encontram-se entre o limite superior ótimo e o limite utilizável superior.

3.2 – Métodos

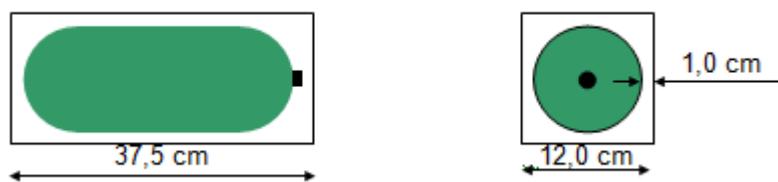
A metodologia empregada é descrita a seguir.

3.2.1 – Desenvolvimento dos Blocos incorporando garrafas PET

Em princípio, não foi dado nenhum tipo de tratamento às garrafas PET, que foram empregadas de forma direta na confecção dos blocos, diferentemente de pesquisas existentes que reciclam as garrafas PET por meio de moagem e posterior mistura com argamassas.

Para a execução dos primeiros blocos, os rótulos foram retirados e com tampa, as garrafas PET foram inseridas e centralizadas em formas de madeira plana de fácil confecção, que foram posteriormente preenchidas com argamassas, no traço 1:3 (cimento:areia) em massa, conforme propõe a Figura 9.

Figura 9 - Protótipo do bloco utilizando garrafa PET.



Os primeiros blocos foram executados nas medidas de 37,5 cm x 12,0 cm x 12,0 cm utilizando forma plana apenas para experimento inicial de acordo com a Figura 10.

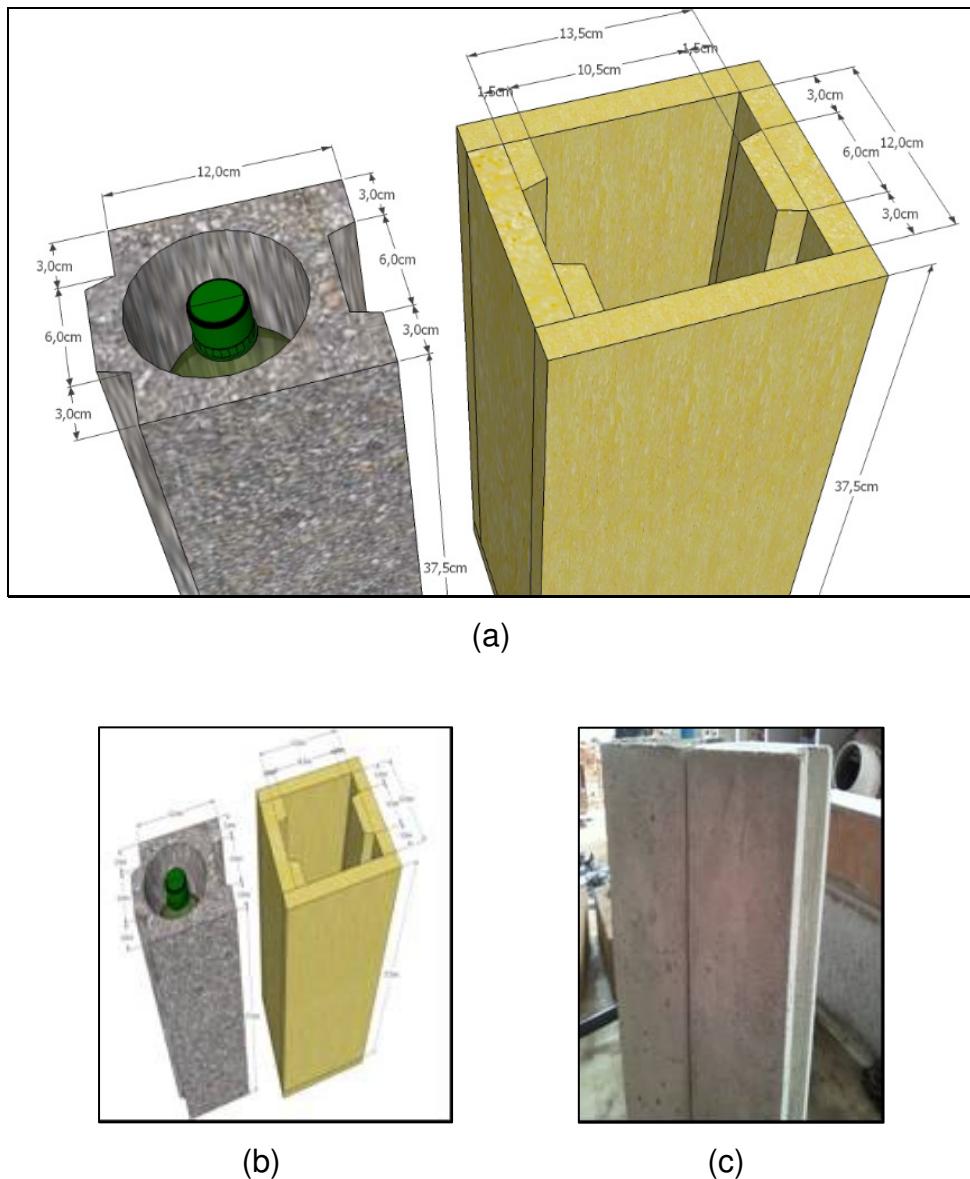
Figura 10 - Bloco plano experimental com garrafa PET.



Para melhorar a ligação entre os blocos na alvenaria, foi desenvolvida uma forma que dá aos blocos saliências e reentrâncias verticais (Figura 11) que permitem o encaixe dos blocos entre si, utilizando-se apenas uma quantidade mínima de argamassa nas juntas verticais.

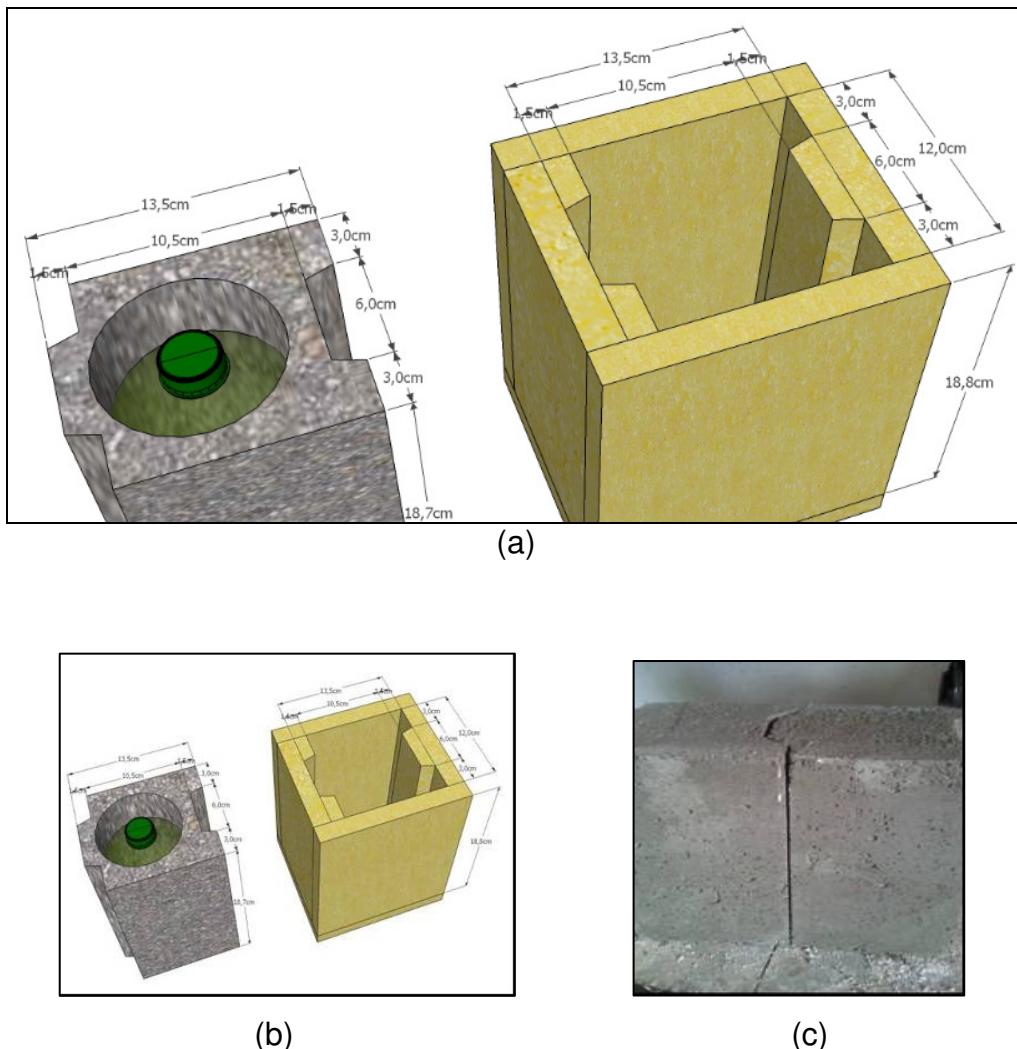
As dimensões de tais blocos permaneceram as mesmas dos blocos planos iniciais: 37,5 cm x 12,0 cm x 12,0 cm.

Figura 11 - (a) Cotas do bloco, (b) Proposta da forma e do bloco utilizando garrafa PET, (c) Blocos com juntas laterais utilizando a garrafa PET.



Para a execução do meio bloco, a garrafa PET é cortada ao meio onde é realizado o encaixe da parte de cima da garrafa com a parte de baixo, objetivando a formação do meio bloco com as medidas de 18,7 cm x 12,0 cm x 12,0 cm de acordo com a Figura 12.

Figura 12 - (a) Cotas do meio bloco, (b) Proposta para forma do meio bloco, (c) Meio bloco com a garrafa PET cortada ao meio e encaixada.



Foram utilizados três traços em massa diferentes para a argamassa de preenchimento das formas tanto dos blocos como dos meio blocos: 1:3:0,7 (cimento:areia:água); 1:5:0,8 e 1:7:0,9.

3.2.2 – Caracterização das argamassas empregadas na confecção dos blocos

As argamassas empregadas para a confecção dos blocos e dos meio blocos correspondiam aos traços 1:3:0,7 (cimento:areia:água); 1:5:0,8 (cimento:areia:água) e 1:7:0,9 (cimento:areia:água).

As propriedades estudadas das argamassas empregadas para a confecção dos blocos foram: Índice de consistência, absorção de água e porosidade.

Para os ensaios de absorção e porosidade 2 amostras de cada traço foram analisadas.

A NBR 13276 (ABNT, 2005) e a NM 67 (ABNT, 1998) foram utilizadas como consulta para a determinação do índice de consistência da mesma no estado fresco.

A determinação da porosidade e absorção de água foi executada conforme a NBR 15270 (ABNT, 2005) e a NBR 9778 (ABNT, 2005).

A Tabela 3 apresenta o índice de consistência, teor de umidade, retenção de água, ar incorporado e densidade das argamassas de preenchimento dos blocos e meio blocos.

Tabela 3 - Índice de consistência, teor de umidade, retenção de água, ar incorporado e densidade das argamassas.

Ensaios	Argamassas de preenchimento dos blocos e meio blocos		
	Amostras- Argamassa 1:3:0,7	Amostras- Argamassa 1:5:0,8	Amostras- Argamassa 1:7:0,9
Índice de consistência (mm)	250	252	256
Abatimento pelo tronco de cone (mm)	42	43	46
Absorção de água (%)	10,23 10,82	11,48 11,80	12,45 12,70
Porosidade(%)	20 21	23 22	25 24

Observa-se na Tabela 3, que o ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone apresentou ótima relação com os índices obtidos na mesa para o índice de consistência, ou seja, para um índice de consistência padrão de 255 ± 10 mm correspondeu um abatimento em torno de 42 mm de modo que os traços utilizados mantém uma boa trabalhabilidade sem perder a consistência.

Observa-se ainda que a porosidade aparente e a absorção da água dos diferentes traços de argamassas analisados aumentaram com o valor da relação água/ areia.

Os índices de absorção de água estão nos limites mínimos e máximos estabelecidos conforme NBR 15270-3:2005.

3.2.3 – Caracterização dos blocos quanto à resistência à compressão

Para a execução dos ensaios de resistência mecânica à compressão dos blocos em PET, utilizou-se como referência a norma NBR 15270 (ABNT, 2005) que corresponde a blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação. Os blocos receberam capeamento de pasta de cimento nas faces de contato com a máquina de ensaio.

Foram testadas as resistências dos blocos posicionados na vertical e também na horizontal.

3.2.4 – Execução das Paredes

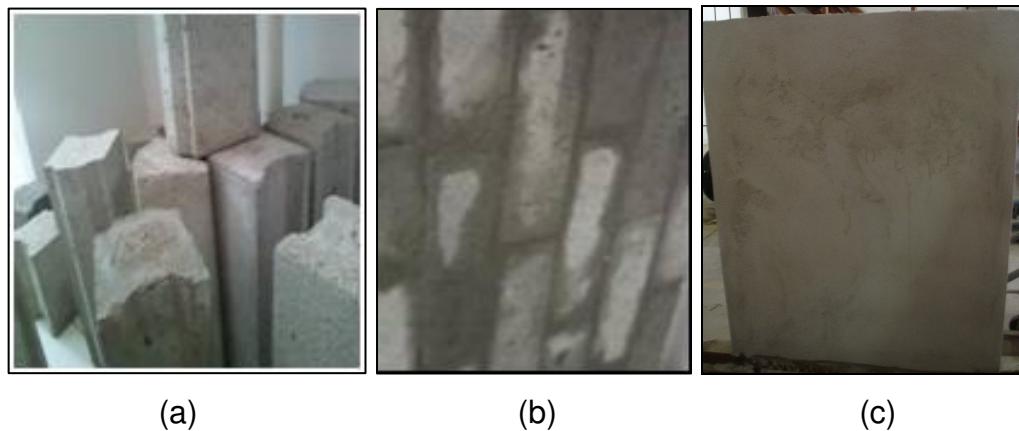
Foram executadas três paredes em alvenaria convencional e três paredes com blocos em PET com a altura de 120,0 cm e largura de 100,0 cm cada.

O assentamento de todas as alvenarias convencionais e não convencionais foi feita com argamassa mista de cimento, cal e areia reciclada, no traço em massa 1:2:3.

Para o revestimento, foram utilizados três traços em massa diferentes para a argamassa de preenchimento das formas: 1:3:0,7 (cimento:areia:água); 1:5:08 e 1:7:0,9.

Todas as alvenarias foram fabricadas com juntas desencontradas, como se usa tradicionalmente e as com blocos com PET estes foram aplicados na posição vertical (Figura 13).

Figura 13 - (a) Blocos e Meio blocos em PET, (b) Parede executada com blocos em PET, (c) Parede executada com blocos em PET após receber reboco.



3.2.5 – Ensaios térmicos nas alvenarias

A ASTM C976 apesar de apresentar direcionamentos para avaliar o desempenho térmico, indica que os testes podem ser realizados de muitas maneiras diferentes, embora ainda em conformidade com o que ela especifica.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Ensaios de Materiais e Estruturas (LABEME), da Universidade Federal da Paraíba (UFPB).

O sistema de medição de temperatura é composto por um microcomputador equipado com *datalogger*, que é um equipamento destinado a executar a aquisição e a gravação de dados durante um período de tempo, eliminando a necessidade da presença de um operador durante a coleta. Estes dados são fornecidos por sensores ou equipamentos externos (termopares), dos quais se deseja obter um histórico de monitoramento.

A ASTM C976 recomenda o uso de termopares para a captação das temperaturas oriundas das alvenarias em estudo. Para cada parede foram utilizados 10 termopares tipo T (cobre – constantam), calibre 24 (bitola de 0,51 mm) com revestimento em policloreto de vinila (PVC), sendo 5 em cada lado da parede. Para tanto, os termopares foram distribuídos nas paredes localizados a 20,0 centímetros de distância das laterais e 1 no centro conforme a Figura 14.

Figura 14 - Parede com termopares distribuídos a 20,0 cm das laterais e 1 no centro.



Para aquecer uma das faces das paredes, tanto na alvenaria convencional como na alvenaria executada com blocos em PET, utilizaram-se dois tipos de fonte de calor para os ensaios, sendo uma fonte de calor contendo 8 lâmpadas incandescentes de 40 W e a outra, uma luminária com uma lâmpada incandescente de 250 W, localizados a 20,0 cm de distância das paredes (Figura 15).

Figura 15 - (a) Ensaio com a fonte de calor com lâmpadas incandescentes, (b) Ensaio com a luminária com lâmpada fluorescente de 250 W.



(a)



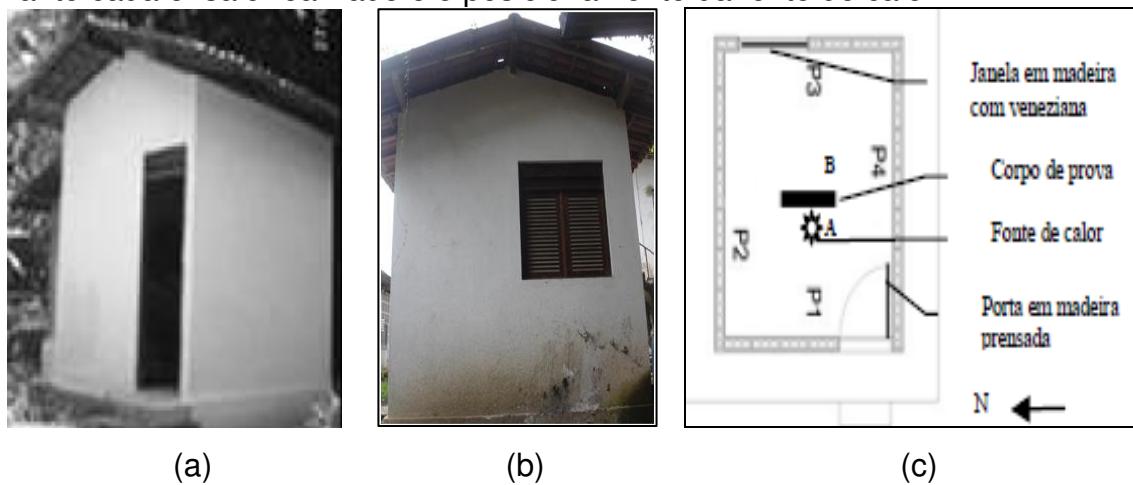
(b)

Para regularizar o fluxo de calor radiante através das paredes e, ao mesmo tempo, diminuir a dissipação do calor para o meio ambiente, placas de poliestireno

expandido (EPS) de 50 mm revestidas com papel alumínio foram colocadas nas faces correspondentes à espessura da parede.

O ensaio para verificação do comportamento térmico das paredes foi realizado no interior de um protótipo construído com blocos em etil vinil acetato (EVA), cujas características são: área construída igual a 8,32 m²; pé-direito igual a 2,95 m; paredes executadas com blocos EVA com dimensões 39,0 cm x 19,0 cm x 9,0 cm, assentados com argamassa no traço 1:2:10 (cimento:cal:areia), com aplicação de chapisco no traço 1:3 (cimento:areia) e reboco em massa única no traço 1:2:10 (cimento:cal:areia); cobertura em duas águas com madeiramento e telha canal cerâmica, sem utilização de forro; piso cimentado; pintura nas paredes em cal, na cor branca, e verniz nas esquadrias em madeira como mostra a Figura 16.

Figura 16 - Vista frontal do protótipo utilizado como câmara de ensaio, (b) Vista posterior do protótipo, (c) Planta baixa da câmara mostrando a localização da parede durante cada ensaio realizado e o posicionamento da fonte de calor.



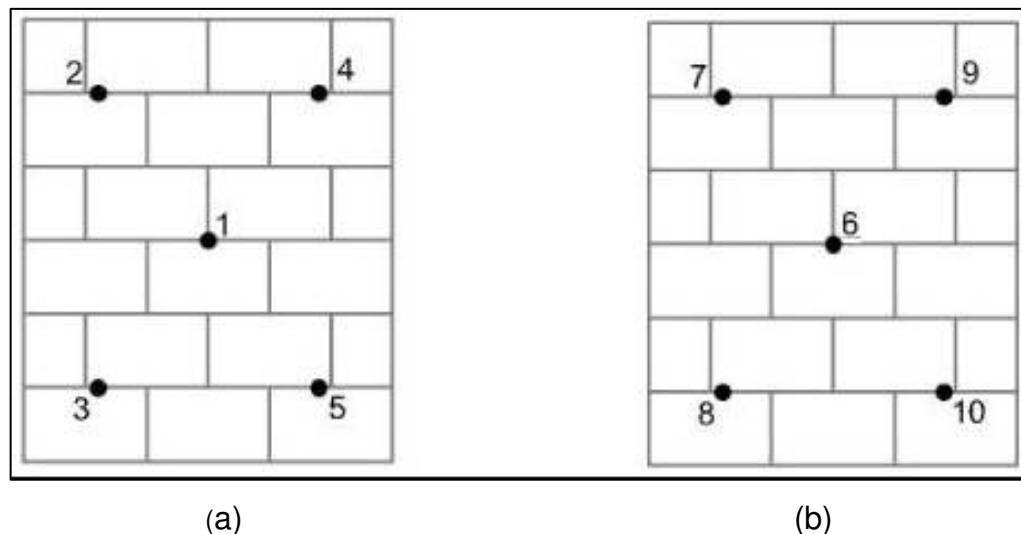
O ambiente do protótipo, considerado neste caso como câmara de ensaio, garante a proteção da ação direta dos ventos e do sol. O micro-clima da envoltória deste Protótipo é pouco influenciado pela presença de outras construções como laboratórios e arborização de grande, médio e pequeno porte nas suas proximidades.

Como procedimento de medição, configurou-se o sistema de aquisição de dados para armazenar a média das temperaturas que foram lidas a cada dez

segundos pelo *datalogger*. A captação dos dados foi realizada utilizando o intervalo de tempo de 35 horas para cada ensaio realizado nas paredes.

A identificação dos 10 termopares nas paredes, tanto em alvenaria convencional como as executadas com blocos em PET, está descrita na Figura 17, de modo que do 1 ao 5, os termopares estão expostos à fonte de calor e do 6 ao 10 estão opostos à fonte de calor emitida.

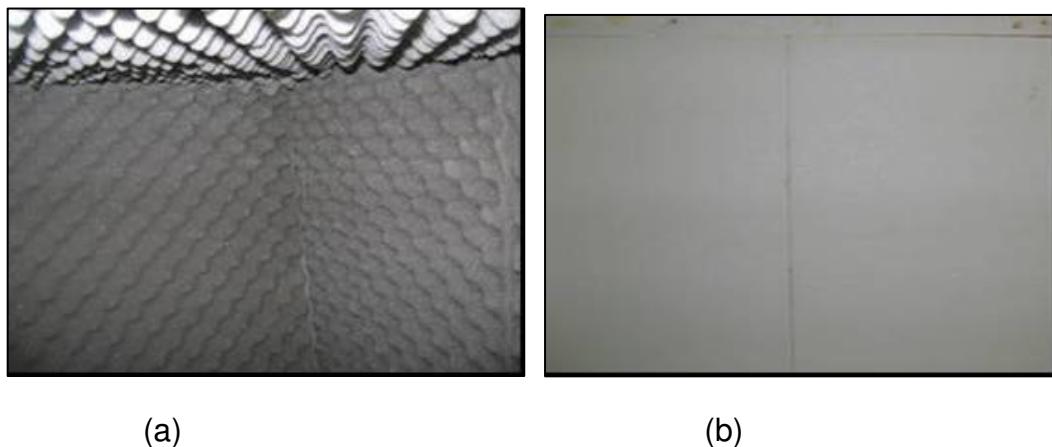
Figura 17 - (a) Identificação dos termopares expostos à fonte de calor emitida com distância de 20,0 cm das laterais, (b) Identificação dos termopares opostos à fonte de calor com a distância de 20,0 cm das laterais.



3.2.6 – Ensaios acústicos nas alvenarias

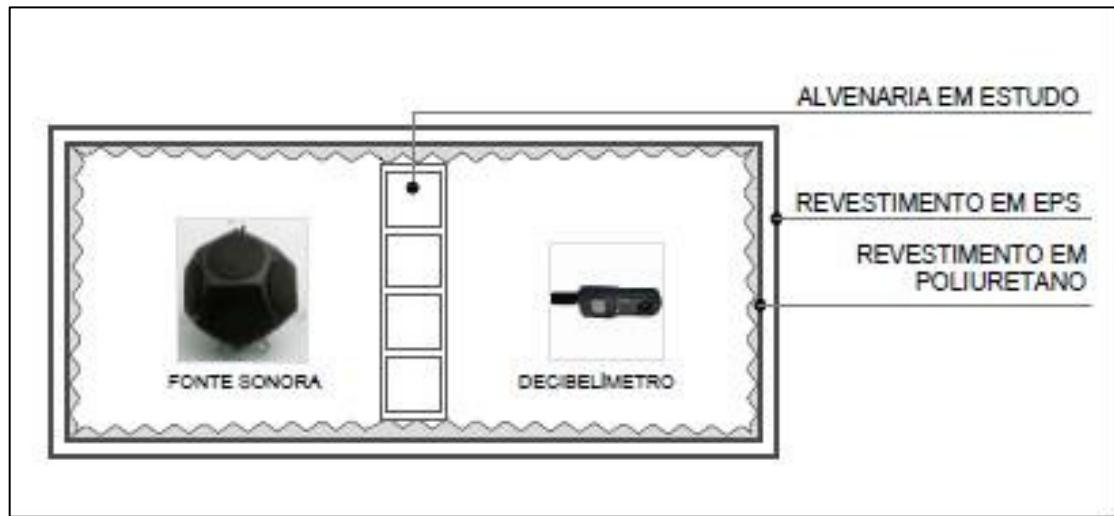
Os ensaios para avaliação acústica foram executados de duas maneiras distintas. Para a realização do primeiro ensaio foi construída uma pequena câmara reverberante com altura de 120,0 cm e 200,0 cm de comprimento. A câmara construída apresenta paredes e cobertura em EPS revestidas com mantas de poliuretano conforme a Figura 18.

Figura 18 - (a) Paredes internas em Poliuretano da câmara reverberante construída, (b) Paredes externas em EPS da câmara construída.



A câmara abrigou a alvenaria de interesse de acordo a Figura 19.

Figura 19 - Câmara construída para a realização dos ensaios acústicos das alvenarias em estudo.



A câmara construída acomodou de um lado uma fonte omnidirecional 01dB OMNI12 para emissão do som, como mostra a Figura 20, fornecida com o módulo de 01dB AMPLI12 que é composto de um amplificador de alta potência, um gerador de ruído que dispõe de uma bateria interna e um sistema de rádio frequência.

Figura 20 - Fonte sonora utilizada para a realização dos ensaios de avaliação acústica nas alvenarias em estudo.



Para a aferição das medidas acústicas, utilizou-se um decibelímetro, conforme a Figura 21, que é também conhecido como Medidor de Nível de Pressão Sonora (MNPS). É um equipamento utilizado para realizar a medição dos níveis de pressão sonora, que é uma grandeza que representa razoavelmente bem a sensação auditiva de volume sonoro.

Tanto a fonte omnidirecional quanto o decibelímetro estavam localizados há uma distância de 50,0 cm da face da alvenaria de estudo.

Figura 21 - Decibelímetro utilizado para a realização dos ensaios para avaliação acústica.



O microfone é peça vital no circuito do decibelímetro, sendo sua função a de transformar um sinal de pressão mecânica em um sinal elétrico. O circuito integrador do medidor oferece diferentes tempos de integração. Além da integração no tempo, também chamada de ponderação no tempo, os medidores oferecem diferentes curvas de ponderação na frequência. A ponderação A é a mais utilizada e foi, portanto, utilizada durante os ensaios.

A NBR 10152 determina os níveis de ruído para conforto acústico e foi utilizada como forma de consulta para a realização deste ensaio.

Resumidamente a sequência de medições realizadas, pode ser descrita como:

- realizou-se a medição do ambiente com o decibelímetro;
- gerou-se o ruído aéreo;
- mediu-se o nível de pressão sonora emitido na área da câmara onde o som é emitido; e
- mediu-se o nível de pressão sonora recebido na área receptora da câmara onde se encontra a alvenaria em estudo.

O ruído emitido foi o mesmo para todos os ensaios acústicos realizados, sendo executado no volume máximo para evitar variações durante as medições.

O segundo ensaio para avaliação acústica foi realizado na Câmara Reverberante no Laboratório de Acústica de Engenharia Mecânica da UFPB, que corresponde a uma sala com volume de 50 m³, construída para a realização de ensaios de transmissibilidade acústica, composta de paredes e lajes de concreto armado com 40 centímetros de espessura.

Para calibrar o som emitido pela fonte sonora utilizou-se o calibrador do Fabricante Brüel & Kjaer, modelo: 4230, número de série: 753475, nível nominal: 94 dB e frequência nominal: 1 000 Hz, de acordo com a Figura 22.

Figura 22 - Calibrador sonoro.

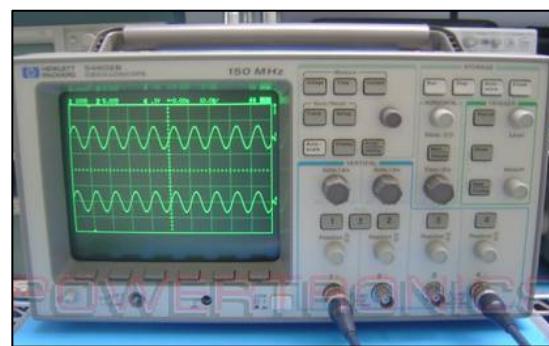


Este é um dos equipamentos especialmente concebidos e dedicados à acústica para ensaios de isolamento acústico de ruído aéreo como o exigido pelas normas internacionais ISO 140-5.

Para a análise dos sinais de frequência emitidos pela fonte omnidirecional utilizou-se um Osciloscópio Digital modelo HP 54602B conforme a Figura 23.

Na maioria das aplicações, o osciloscópio mostra como é que um sinal elétrico varia no tempo permitindo determinar a frequência de um sinal periódico.

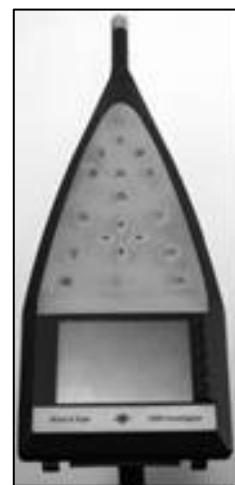
Figura 23 - Osciloscópio utilizado durante a realização dos ensaios para avaliação acústica.



No caso deste ensaio, o osciloscópio transmitiu o nível de frequência gerado pela fonte sonora em Hz.

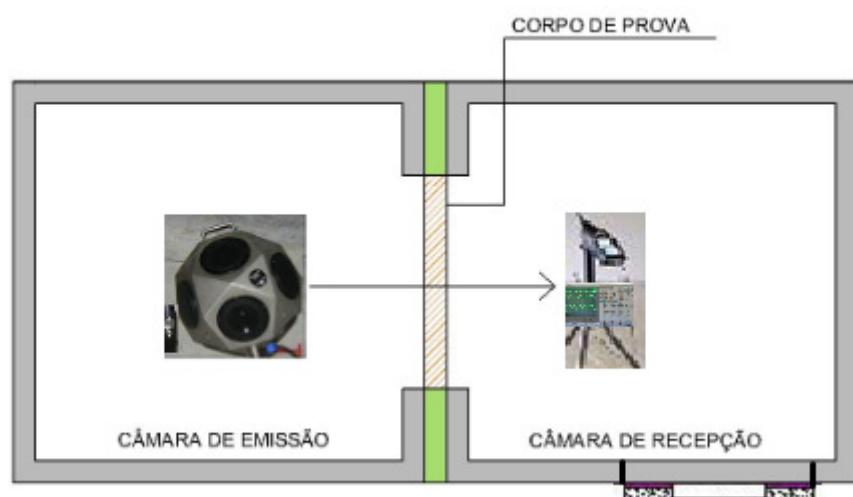
Para medir o nível da pressão sonora emitida pela fonte sonora, utilizou-se um analisador acústico do tipo 2260 que é fabricado pela empresa dinamarquesa Brüel & Kjaer, que é considerado um decibelímetro mais moderno, o qual registra todos os resultados que foram recebidos pelas alvenarias em estudo, conforme a Figura 24.

Figura 24 - Analisador acústico utilizado para os ensaios.



A alvenaria a ser ensaiada foi encaixada na parte central da câmara, conforme Figura 25.

Figura 25 - Posicionamento do equipamento utilizado dentro da câmara.



Devido à ausência de um *software* para a leitura e interpretação gráfica dos dados obtidos durante a realização do ensaio, a medição prosseguiu da seguinte forma:

- aferiu-se o conjunto de medição com o uso do calibrador sonoro;
- na câmara de emissão, o som gerado pela fonte omnidirecional passou pela interface do calibrador, e então foi distribuído pela sala;
- através da fonte sonora geraram-se ruídos distorcidos tanto em frequência quanto em volume que foram analisados pelo osciloscópio durante todos os ensaios nas paredes; e
- na câmara de receptora, o analisador acústico captou, através de seu microfone, a resposta impulsiva da sala.

3.2.7 – Ensaios de resistência mecânica das alvenarias

Para a avaliação da resistência à compressão das alvenarias, foi colocado um perfil metálico sobre as paredes, de acordo a Figura 26, para distribuir melhor o carregamento aplicado pela prensa hidráulica. O carregamento crescente foi aplicado em intervalos de 5 kN.

Figura 26 - Método de ensaio para avaliação mecânica das alvenarias em estudo.



Utilizaram-se 3 extensômetros (relógios comparadores) para os 2 lados da parede, sendo 2 distribuídos de um lado e o outro centralizado na face da parede conforme a Figura 27.

Figura 27 - Distribuição dos extensômetros nas alvenarias.



CAPÍTULO IV

4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

O presente capítulo apresenta os resultados experimentais obtidos neste trabalho.

4.1 – Resistência à compressão dos Blocos com PET

Os blocos com PET sejam planos ou com encaixes pesaram entre 4,50 e 4,60 kgf e os meio blocos entre 2,35 e 2,40 kgf sob umidade ambiente (três amostras de cada bloco e meio bloco foram pesadas).

Como forma de identificar a resistência mecânica dos blocos, realizou-se o ensaio de resistência à compressão com os blocos iniciais, com superfícies planas, na posição horizontal, apoiado na maior superfície lateral (Figura 28) e na posição vertical (Figura 29), e os resultados constam na Tabela 4.

Percebe-se que a resistência é maior quando o bloco é ensaiado na posição vertical.

Figura 28 - Teste de resistência à compressão no bloco plano na posição horizontal. Figura 27 - Teste de resistência à compressão no bloco plano na posição horizontal.



Figura 29 - Teste de resistência à compressão no bloco plano na posição vertical.

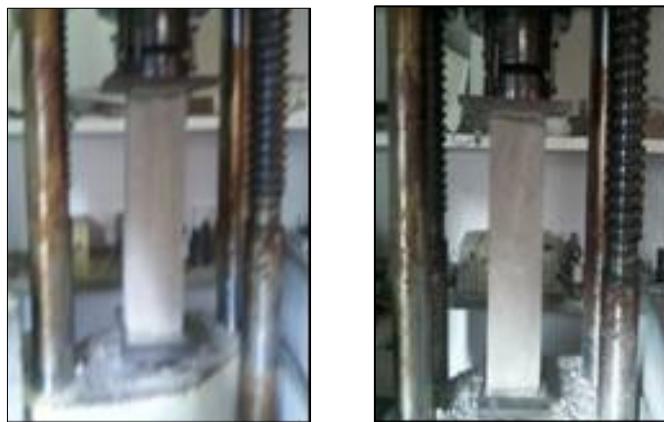


Tabela 4 - Resultado do ensaio de resistência à compressão dos blocos planos.

Blocos planos		
Bloco	Posição	Resistência [MPa]
1	horizontal	1,54
2	"	1,50
3	vertical	1,83
4	"	1,80

Os mesmos testes foram efetuados com os blocos com encaixes (Figuras 30 e 31), e os resultados constam na Tabela 5.

Figura 30 - Ensaio de resistência à compressão dos blocos com encaixe nas laterais na posição horizontal.



Figura 31 - Ensaio de resistência à compressão dos blocos com encaixe nas laterais na posição vertical.

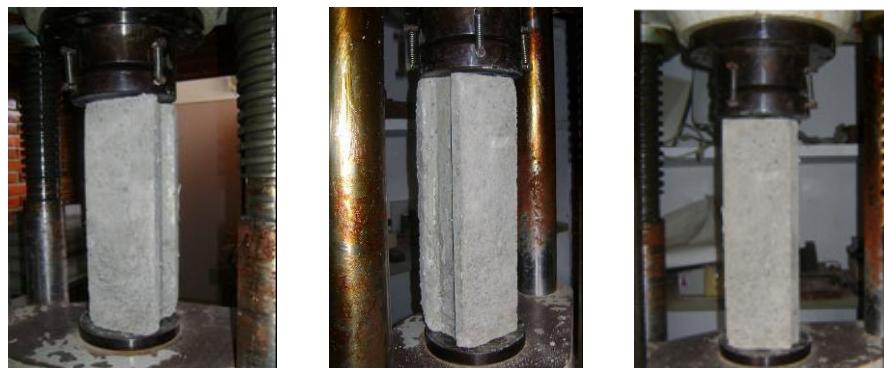


Tabela 5 - Resultado do ensaio de resistência à compressão dos blocos com encaixes.

Blocos com encaixes			
Bloco	Traço Argamassa	Posição	Resistência (Mpa)
1	1:3:0,7	horizontal	1,55
2	1:5:0,8	"	1,58
3	1:7:0,9	'	1,61
4	1:3:0,7	vertical	1,83
5	1:5:0,8	"	1,83
6	1:7:0,9	"	1,85

Note-se que as resistências dos blocos com encaixe foram praticamente as mesmas obtidas no blocos planos.

Foram também obtidas as resistências dos meio blocos com encaixes, também nas duas posições horizontal e vertical.

Os ensaios podem ser vistos nas Figuras 32 e 33 e os resultados constam na Tabela 6.

Figura 32 - Ensaio de resistência à compressão nos meio blocos na posição horizontal.



Figura 33 - Ensaio de resistência à compressão nos meio blocos na posição vertical.



Tabela 6 - Resultado do ensaio de resistência à compressão dos meio blocos

Meio blocos			
Bloco	Traço Argamassa	Posição	Resistência (Mpa)
1	1:3:0,7	horizontal	1,49
2	1:5:0,8	"	1,49
3	1:7:0,9	'	1,51
4	1:3:0,7	vertical	1,54
5	1:5:0,8	"	1,56
6	1:7:0,9	"	1,58

Pode-se perceber que na posição horizontal o meio bloco apresentou praticamente a mesma resistência do bloco, porém na posição vertical o meio bloco

apresentou resistência menor quando comparada ao bloco, devido ao fato da garrafa ter sido cortada ao meio, pode-se afirmar que o fato de a garrafa ter sido cortada ao meio tenha exercido influência sobre este resultado.

4.2 – Avaliação térmica das alvenarias

O desempenho térmico das paredes foi avaliado através da análise comparativa em relação às paredes construídas com alvenaria convencional utilizando tijolo cerâmico de 8 furos.

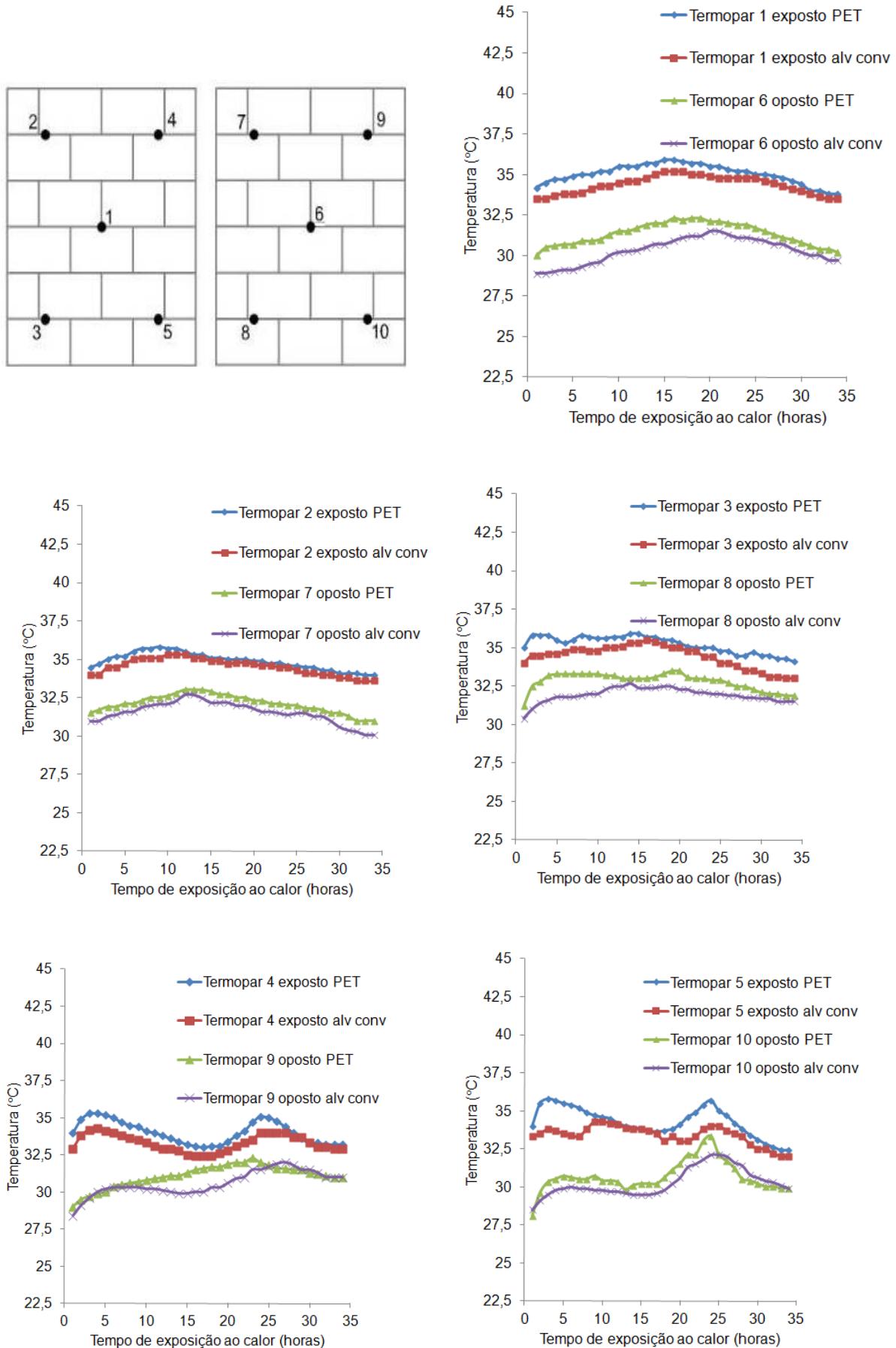
Os termopares expostos referem-se à face da parede direcionada para a fonte de calor e os termopares opostos à face contrária.

4.2.1 – Avaliação térmica das alvenarias 1: fonte de calor 1

As alvenarias 1 correspondem àquelas em que os blocos em PET e o revestimento tanto destes quanto dos blocos cerâmicos utilizaram o traço 1:3:0,7 (cimento: areia reciclada:água).

A fonte de calor 1 corresponde à exposição da fonte de calor contendo 8 lâmpadas incandescentes de 40 w com os termopares distribuídos a 20 centímetros de distância das laterais. Na Figura 34 vêm-se os gráficos obtidos pela leitura dos diferentes termopares.

Figura 34 - Curvas de temperatura ao longo do tempo medida nos termopares instalados nas alvenarias correspondentes ao traço 1: fonte de calor 1.



Percebe-se que no centro da parede (termopar 1) a temperatura das alvenarias eleva-se de forma quase que linear nas quinze primeiras horas de ensaio. Apesar de os gráficos das alvenarias com PET e das com blocos cerâmicos serem bastante semelhantes, pode-se notar que o retardo térmico da alvenaria convencional é ligeiramente maior. Também se vê que atingido o pico de temperatura, ela passa a decrescer. Este fato está ligado à diminuição da temperatura ambiente ao anoitecer. Os ensaios sempre tiveram início entre 7 h e 9 h da manhã.

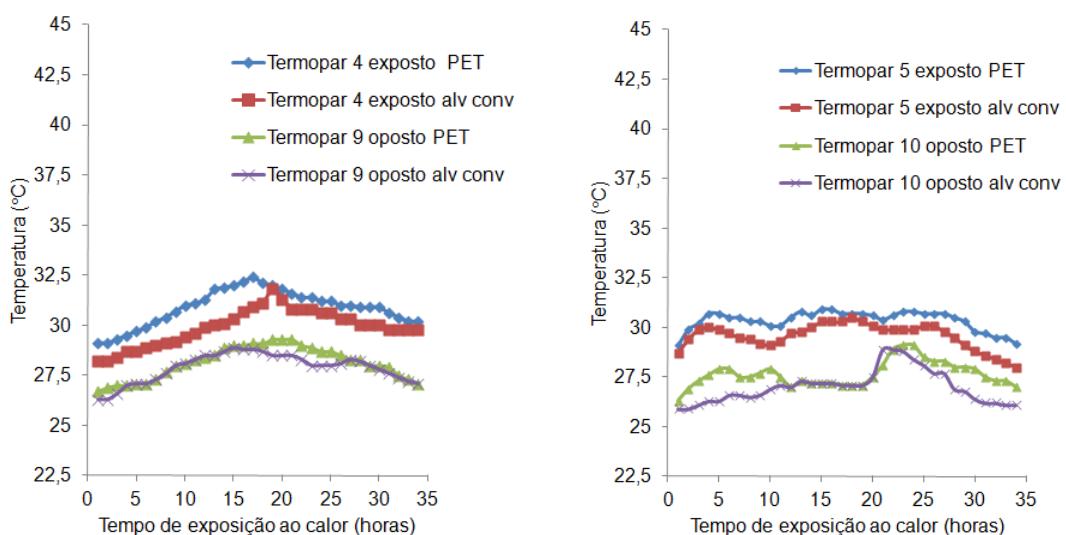
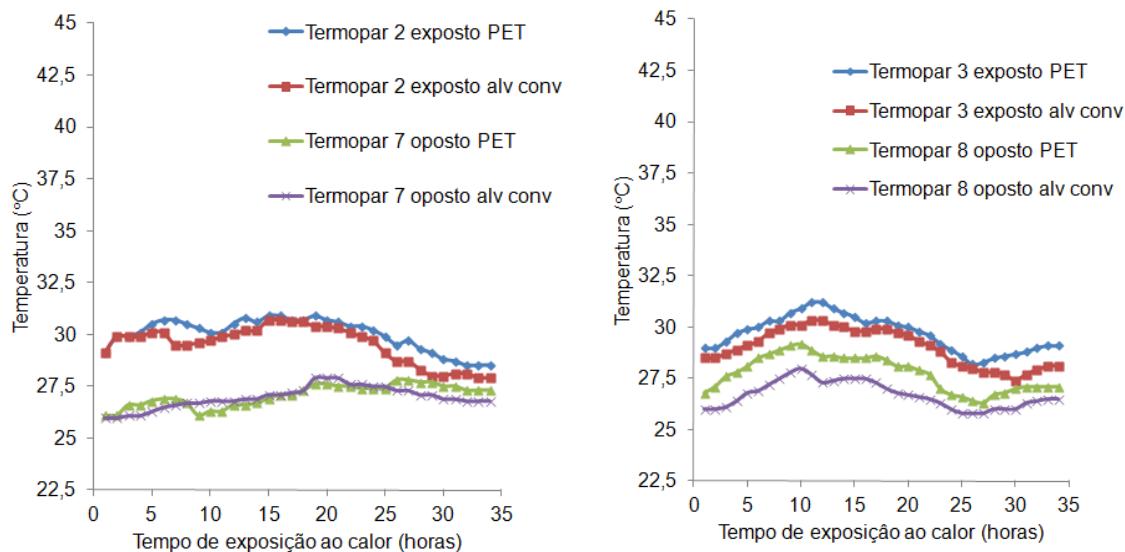
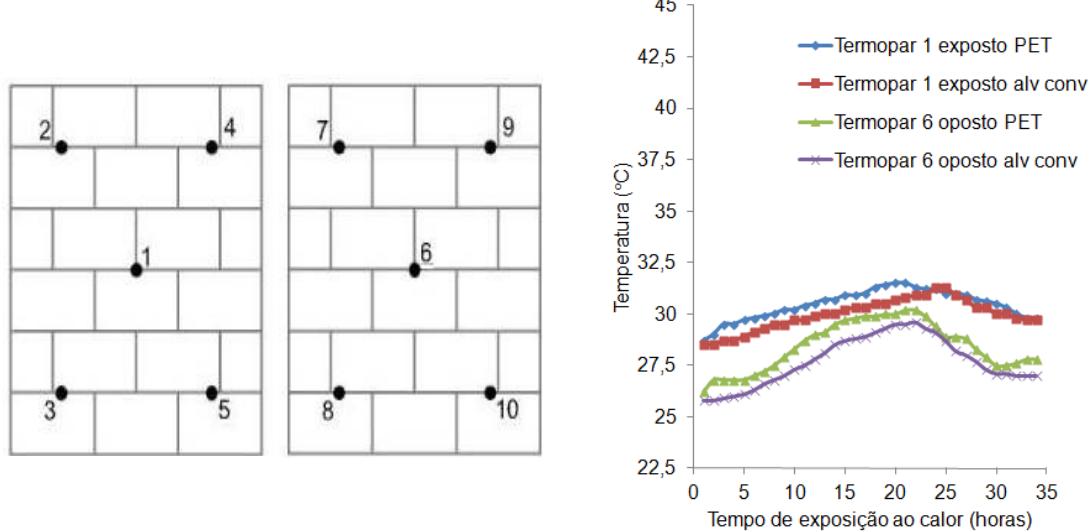
Nas primeiras horas do ensaio vê-se que a parede de blocos com PET aquece mais, chegando ao máximo de 35,8 °C, e com o passar do tempo seu comportamento vai-se igualando ao da alvenaria de blocos cerâmicos, cuja temperatura máxima atingiu 35,2 °C. Na face oposta a temperatura máxima foi de 32,3 °C na alvenaria com PET e 31,5 °C na convencional.

Nos termopares 2 e 7 o comportamento é semelhante à daqueles instalados no centro das alvenarias (1 e 6). Já nos demais, percebe-se que houve perturbações não esperadas na variação de temperatura. Isto se deve provavelmente à não uniformidade de distribuição dos termopares em relação à fonte de calor e também pela sua localização que pode coincidir ou não com uma junta da alvenaria. No entanto, pode-se admitir um comportamento semelhante entre as duas alvenarias.

4.2.2 – Avaliação térmica das alvenarias 1: fonte de calor 2

A fonte de calor 2 corresponde à exposição de uma luminária contendo uma lâmpada incandescente de 250 W posicionada a 20 cm, no centro da parede. Na Figura 35 vêm-se os gráficos obtidos pela leitura dos diferentes termopares.

Figura 35 - Curvas de temperatura ao longo do tempo medida nos termopares instalados nas alvenarias correspondentes ao traço 1: fonte de calor 2.



Observa-se que a alvenaria executada com blocos em PET teve seu maior índice de temperatura registrada na vigésima primeira hora, apresentando 31,5 °C e finalizou as trinta e cinco horas de ensaio com a mesma temperatura da alvenaria convencional de 29,8 °C. A alvenaria convencional obteve a maior temperatura na vigésima quarta hora com 31,3 °C (Termopar 1).

Nos termopares 3 e 8 a alvenaria executada com blocos em PET obteve desempenho inferior, porém a diferença não é tão significativa, tanto que para o termopar 8 a alvenaria em PET apresentou temperatura de 29 °C nas duas primeiras horas de ensaio e a alvenaria com tijolos cerâmicos convencionais, apresentou no mesmo intervalo 28,5 °C.

No caso do termopar 10, as alvenarias iniciaram o ensaio com a mesma temperatura de 25,9 °C e entre a décima segunda hora e a vigésima hora de exposição mantiveram as mesmas temperaturas.

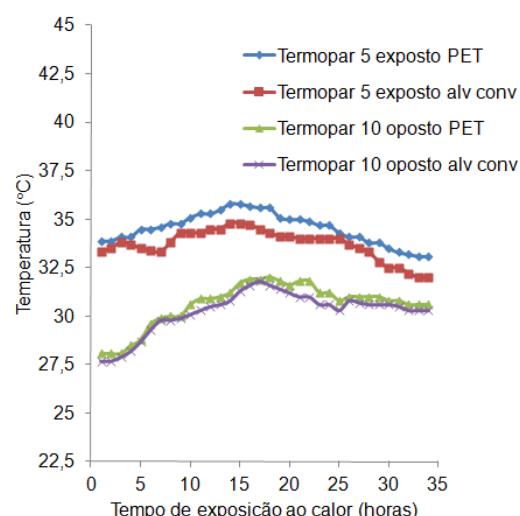
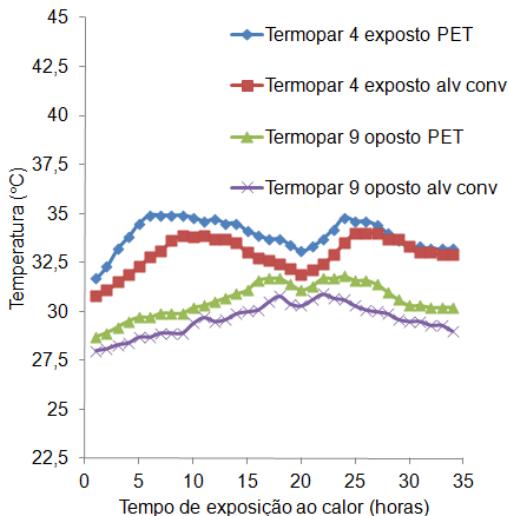
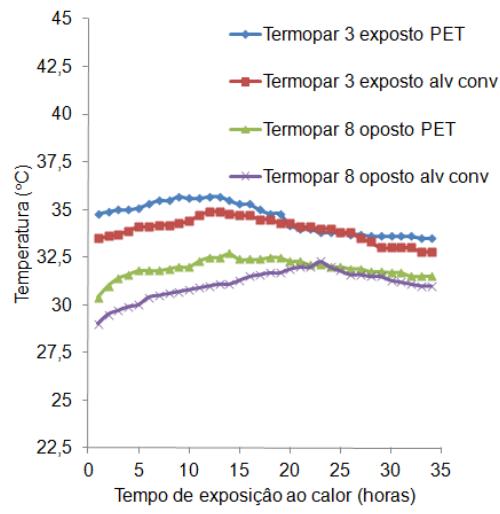
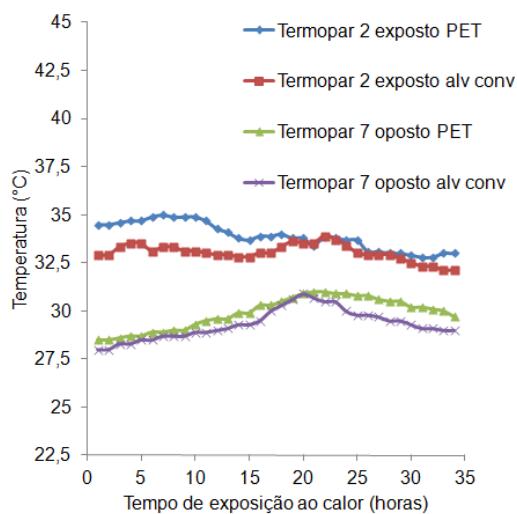
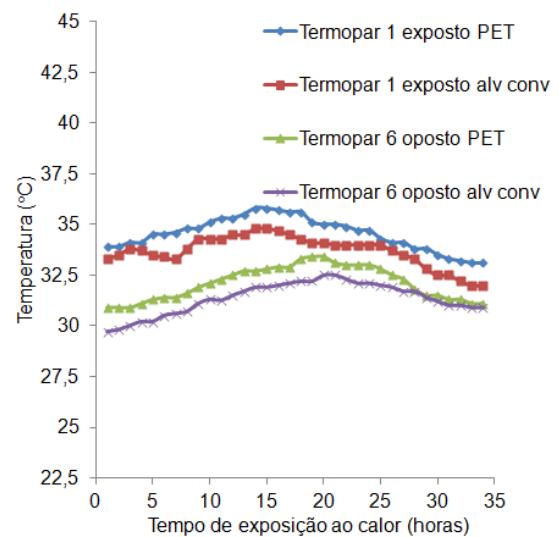
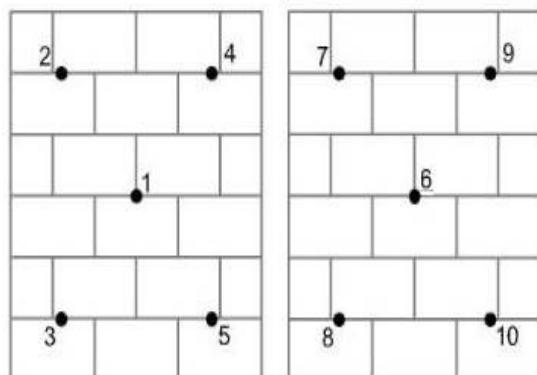
No conjunto, pode-se dizer que as temperaturas apresentadas pelos termopares opostos, foram bem semelhantes para as duas alvenarias.

4.2.3 – Avaliação térmica das alvenarias 2: Fonte de calor 1

As alvenarias foram submetidas à exposição da fonte de calor contendo 8 lâmpadas incandescentes de 40 W.

A Figura 36 apresenta os gráficos obtidos pela variação de temperatura para os 5 termopares instalados à 20 cm de distância das extremidades da parede executada com blocos em PET e com tijolos cerâmicos de 8 furos no traço 1:5:0,8 (cimento:areia:água) expostos e opostos à fonte.

Figura 36 - Curvas de temperatura ao longo do tempo medida nos termopares instalados nas alvenarias correspondentes ao traço 2: fonte de calor 1.



A alvenaria executada com blocos em PET manteve temperaturas superiores durante as trinta e cinco horas de exposição à fonte de calor para o termopar 1.

Da vigésima sétima hora de ensaio até a trigésima quinta hora, a alvenaria executada com blocos em PET demonstrou desempenho térmico semelhante ao desempenho obtido pela alvenaria convencional (termopar 6).

O termopar 2 mostra que a alvenaria executada com blocos em PET iniciou o ensaio de avaliação térmica com as temperaturas bem mais elevadas que as temperaturas da alvenaria executada com tijolos cerâmicos comuns, apenas entre a décima nona hora e vigésima quarta hora do ensaio, as alvenarias apresentaram desempenho térmico semelhante, o mesmo ocorreu entre a vigésima sexta e vigésima nona hora do tempo de exposição à fonte.

Entre a vigésima e a vigésima nona hora de exposição as alvenarias apresentaram semelhante desempenho térmico (termopar 3).

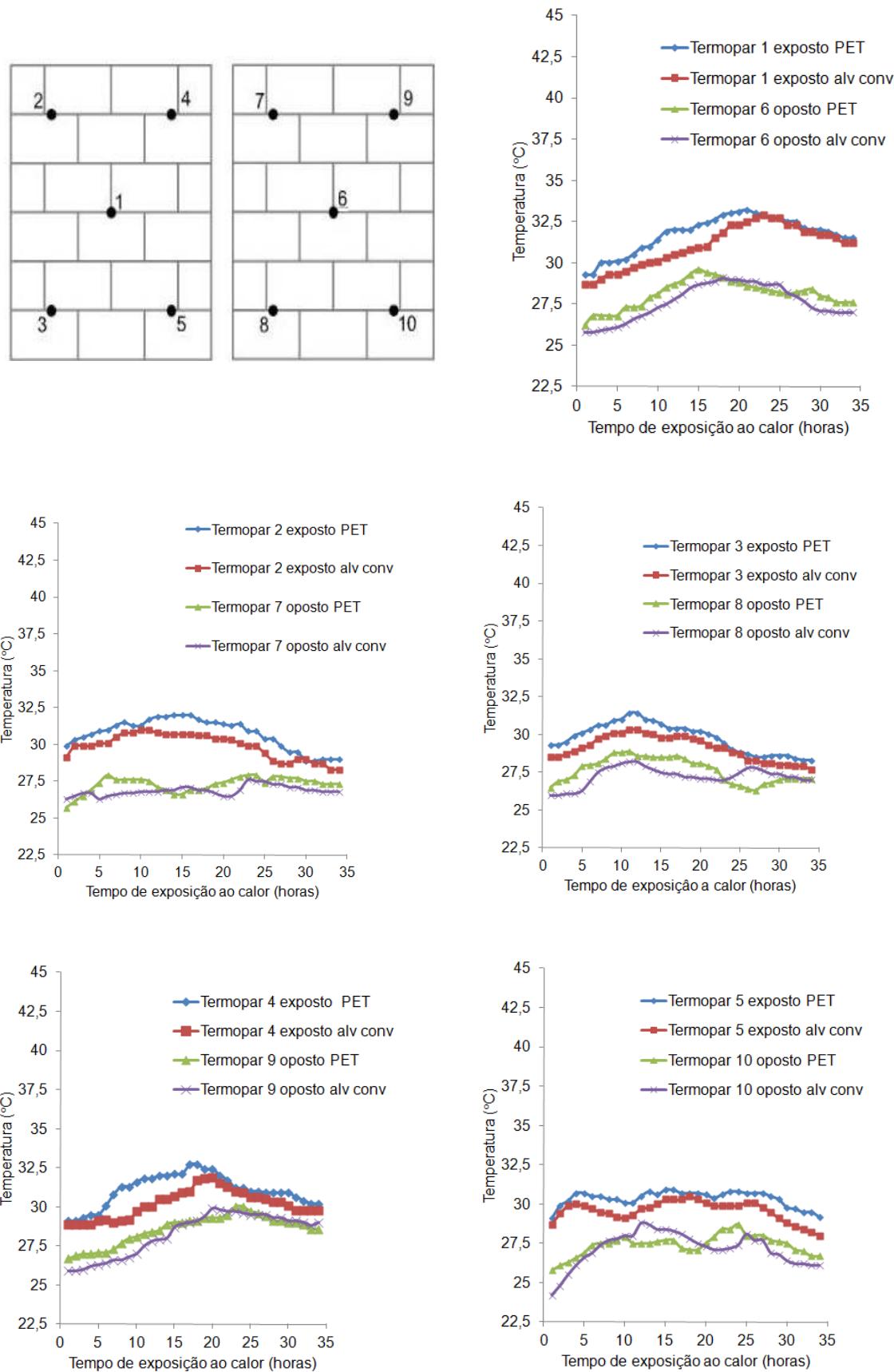
A temperatura apresentada no termopar 8, oposto às alvenarias mostrou que a alvenaria executada com blocos em PET finalizou o ensaio com 31,5°C, temperatura aproximada à temperatura da alvenaria com tijolos convencionais que finalizou com 31°C.

Já para o termopar oposto (termopar 10), a alvenaria em PET, apenas entre a vigésima e a vigésima quinta hora obteve desempenho inferior, mantendo desempenho semelhante em quase todo o ensaio realizado. As temperaturas da alvenaria em PET variaram entre 28,1°C e 31,9°C. As temperaturas apresentadas pela alvenaria convencional variaram entre 29,0°C e 31,8°C.

4.2.4 –Avaliação térmica das Alvenarias 2 : Fonte de calor 2

A figura 37 apresenta através dos gráficos os resultados dos ensaios realizados a partir das alvenarias submetidas à fonte correspondente à luminária com lâmpada incandescente de 250 W com os termopares distribuídos à 20 centímetros de distância das laterais das alvenarias em estudo.

Figura 37 - Curvas de temperatura ao longo do tempo medida nos termopares instalados nas alvenarias correspondentes ao traço 2: fonte de calor 2..



Percebe-se que entre a vigésima primeira e a trigésima quinta hora, a alvenaria executada com blocos em PET obteve o mesmo desempenho apresentado pela alvenaria executada com tijolos cerâmicos convencionais (termopar 1).

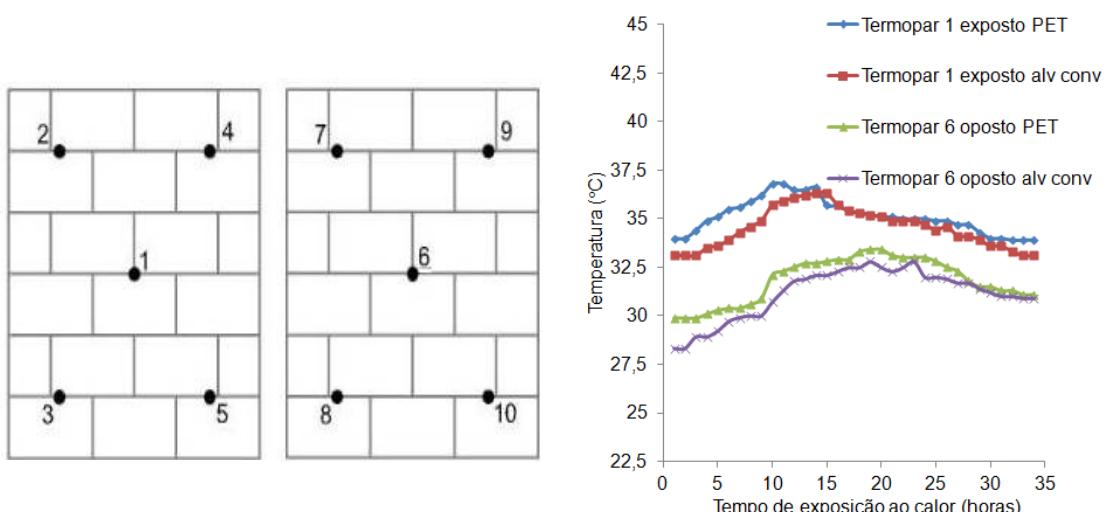
Da vigésima sexta à trigésima quinta hora de ensaio a alvenaria executada com blocos em PET obteve desempenho térmico superior ao desempenho térmico apresentado pela alvenaria convencional (termopar 6).

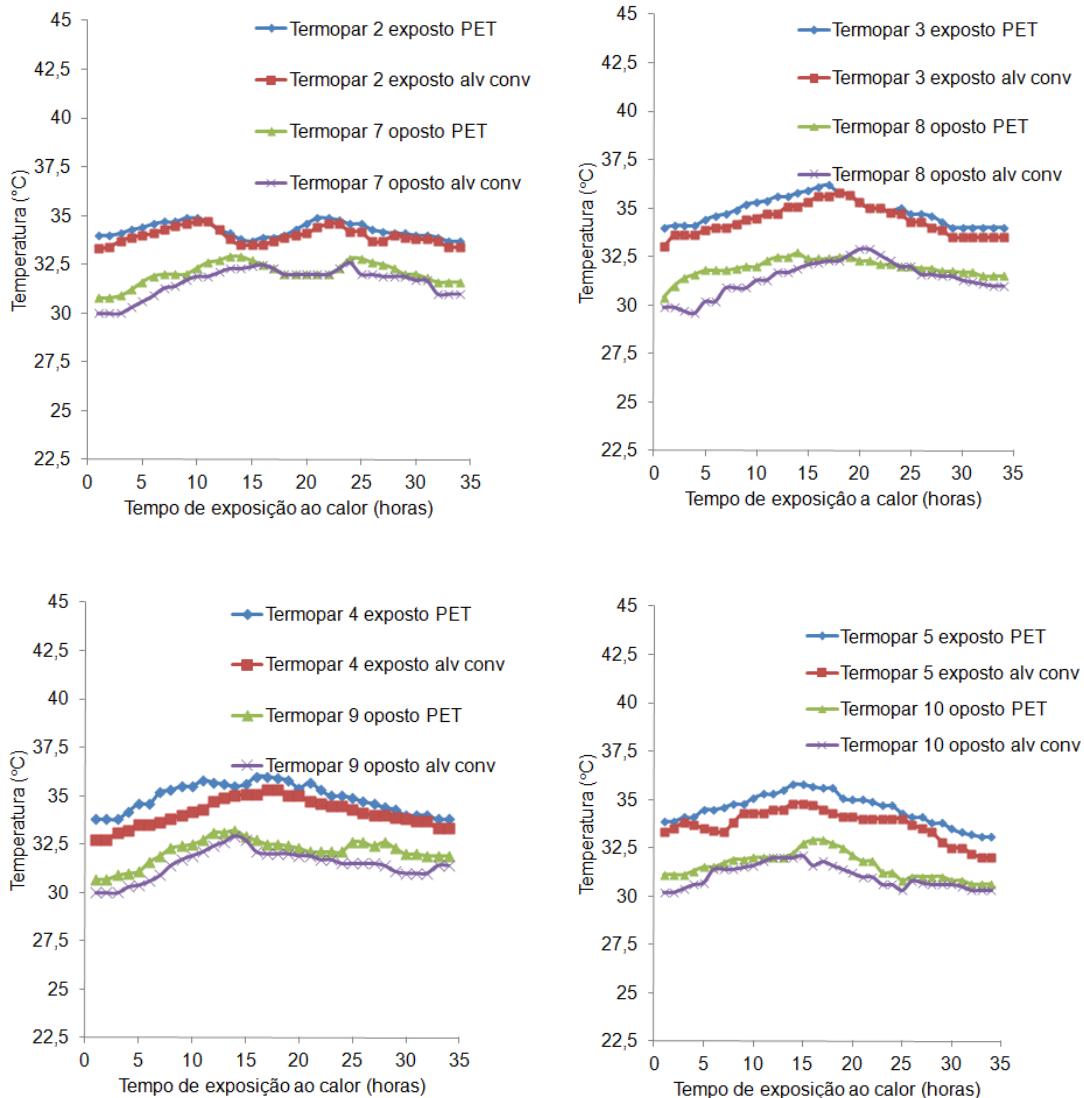
Vê-se no termopar 8 que a alvenaria executada com blocos em PET, da vigésima quarta à trigésima primeira hora de ensaio apresentou desempenho térmico superior ao desempenho mostrado pela alvenaria convencional, obtendo temperaturas inferiores durante este tempo. Da trigésima primeira hora até a trigésima quinta, as alvenarias apresentaram desempenhos semelhantes obtendo as mesmas temperaturas.

4.2.5 – Avaliação térmica das alvenarias 3: Fonte de calor 1

Na Figura 38 constam as variações de temperaturas (médias por hora) para os 5 termopares instalados à 20 cm de distância das extremidades das paredes executadas com blocos em PET e com tijolos cerâmicos de 8 furos no traço 1:7:0,9 (cimento:areia:água) expostos e opostos à fonte de calor com 8 lâmpadas de 40w.

Figura 38 - Curvas de temperatura ao longo do tempo medida nos termopares instalados nas alvenarias correspondentes ao traço 3: fonte de calor 1.





A alvenaria executada com blocos em PET apresentou da décima sexta à vigésima quarta hora de ensaio o mesmo desempenho térmico apresentado pela alvenaria executada com tijolos cerâmicos convencionais, variando as temperaturas durante as trinta e cinco horas de ensaio entre 34 °C e 36,8 °C. A alvenaria executada com tijolos cerâmicos comuns obteve variação de temperatura entre 33,1 °C e 36,3 °C (termopar 1).

Para o termopar 6, localizado oposto ao termopar 1, a alvenaria executada com blocos em PET apresentou entre a vigésima nona e a trigésima quinta hora o mesmo desempenho térmico que a alvenaria executada com tijolos convencionais.

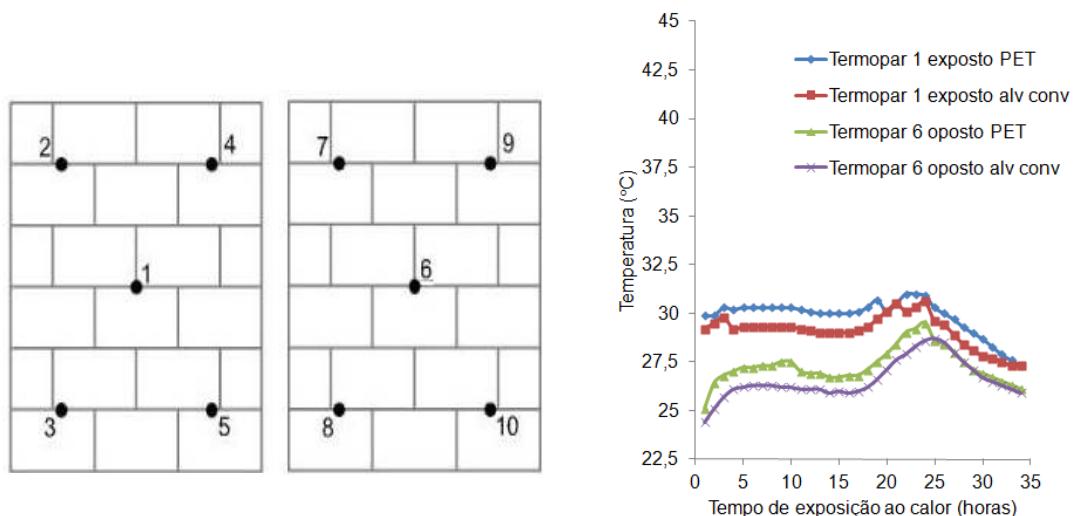
Nos termopares 2 e 7, alvenaria executada com blocos em PET demonstrou desempenho térmico semelhante ao desempenho térmico obtido pela alvenaria convencional para os termopares expostos durante quase as trinta e cinco horas de exposição à fonte.

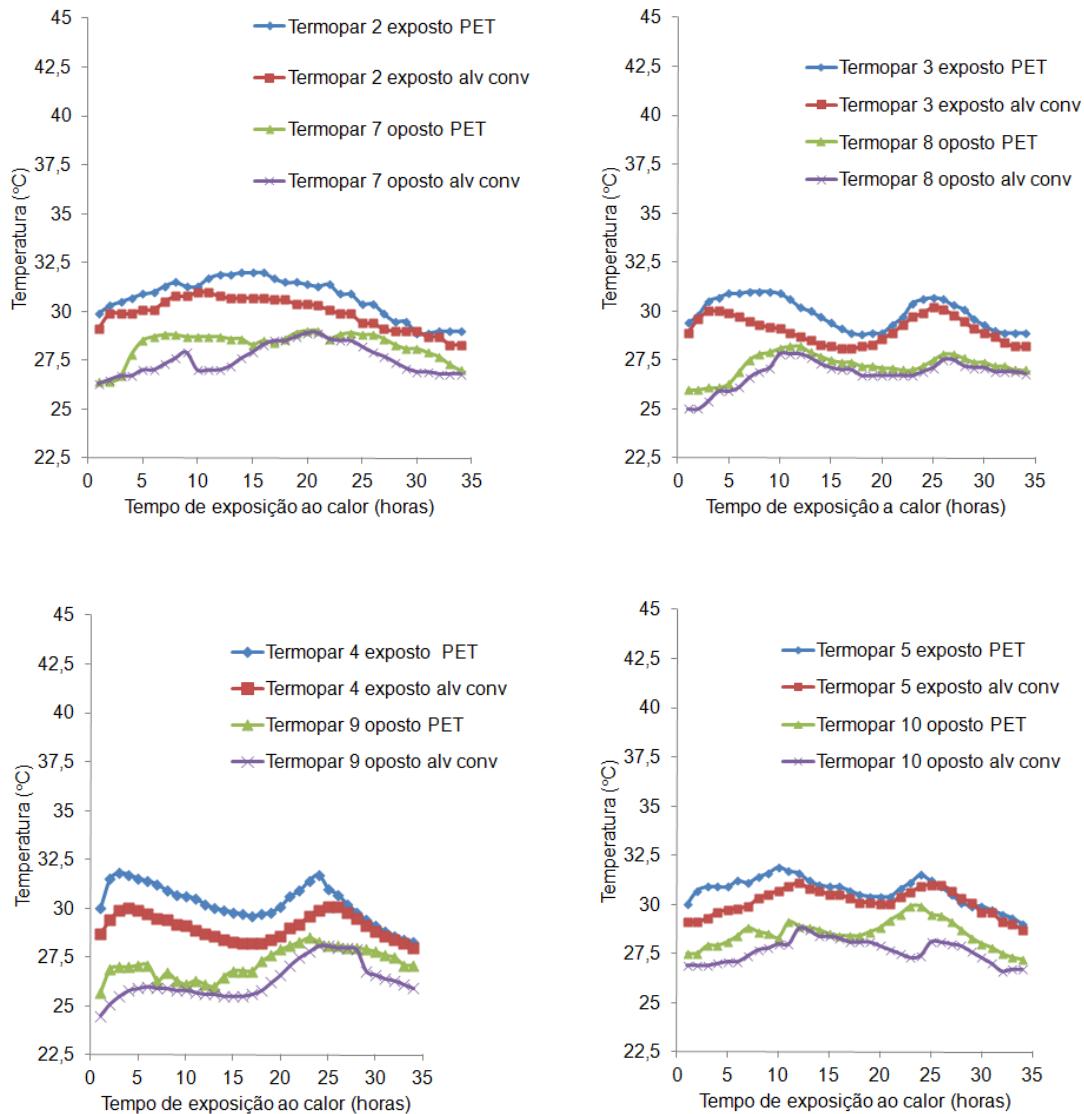
A alvenaria executada com blocos em PET apresentou melhor desempenho térmico entre a décima nona e vigésima terceira hora de realização do ensaio para os termopares opostos, finalizando as trinta e cinco horas com 31,5 °C de temperatura. A alvenaria convencional finalizou as trinta e cinco horas com 31 °C (termopar 8).

4.2.6 – Avaliação térmica das alvenarias 3: Fonte de calor 2

A Figura 39 mostram os resultados dos ensaios realizados a partir das alvenarias submetidas à fonte correspondente à luminária com lâmpada incandescente de 250 W com os termopares distribuídos à 20 centímetros de distância das laterais das alvenarias em estudo.

Figura 39 - Curvas de temperatura ao longo do tempo medida nos termopares instalados nas alvenarias correspondentes ao traço 3: fonte de calor 2.





As alvenarias apresentaram o mesmo desempenho térmico da vigésima quinta à trigésima quinta hora de ensaio realizado.

A alvenaria em PET obteve variações de temperatura entre 25,1 °C e 29,5 °C; já a alvenaria convencional obteve variações de temperaturas entre 24,4 °C e 28,7 °C (termopar 6).

O termopar 3 correspondente ao exposto à fonte de calor identificou que as temperaturas absorvidas pela alvenaria executada com os blocos em PET apresentou maiores temperaturas durante as trinta e cinco horas de exposição à fonte quando

comparada às temperaturas apresentadas pela alvenaria executada com tijolos convencionais.

Observou-se no termopar 9, localizado oposto às alvenarias, que a alvenaria executada com blocos em PET obteve maiores temperaturas quando comparada à alvenaria executada com tijolos cerâmicos, exceto entre a vigésima quarta e a vigésima nona horas na qual as alvenarias apresentaram as mesmas temperaturas e obtiveram o mesmo desempenho térmico.

A alvenaria executada com blocos em PET da vigésima quinta à trigésima quinta hora de ensaio correspondente ao termopar 5, obteve as mesmas temperaturas quando comparadas à alvenaria convencional. Da décima primeira à vigésima quarta hora de ensaio, as temperaturas apresentadas pelas alvenarias foram bem semelhantes.

É importante ressaltar que o desempenho térmico das paredes executadas com blocos em PET foi semelhante em todos os ensaios realizados utilizando-se das duas fontes de calor, e em alguns casos obteve até desempenho térmico superior.

4.3 – Ensaios de Avaliação Acústica

Para a verificação do desempenho acústico das alvenarias em estudo, realizaram-se dois ensaios distintos, cujos resultados serão apresentados a seguir.

4.3.1 – Ensaio 1 para Avaliação Acústica das Alvenarias

A sala na qual foi construída a câmara reverberante registrou durante os ensaios realizados uma variação acústica entre 39 dB(A) e 41,2 dB(A) conforme a Figura 40.

Figura 40 - Variação de intensidade sonora durante a realização dos ensaios da sala na qual foi construída a câmara.



A Tabela 7 mostra os resultados da avaliação acústica realizada nas paredes construídas com os blocos em PET.

Tabela 7 - Resultado da Avaliação Acústica correspondente ao Ensaio 1: alvenarias executadas com blocos em PET.

Avaliação Acústica – Alvenarias executadas com blocos em PET			
Descrição	Medições Alvenaria 1 dB(A)	Medições Alvenaria 2 dB(A)	Medições Alvenaria 3 dB(A)
Ambiente da câmara onde houve emissão do ruído	86,9	85,7	85,1
Ambiente da câmara onde se encontra a alvenaria em estudo	80,0	79,2	78,3
Diferença	6,9	6,5	6,8

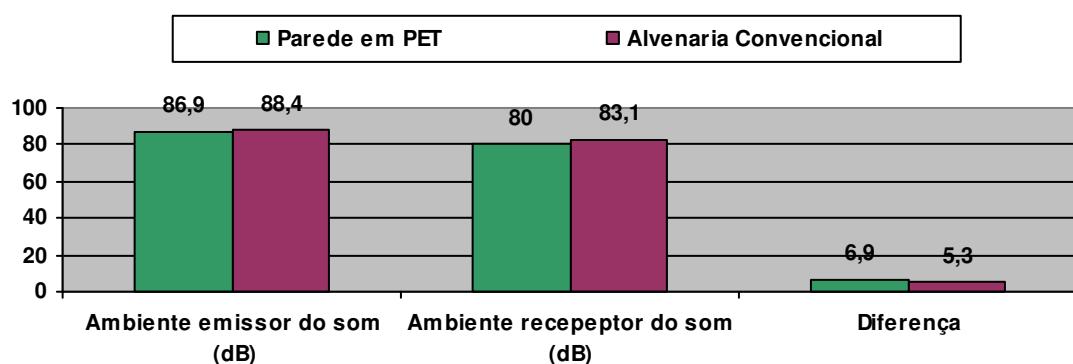
A Tabela 8 apresenta os resultados da avaliação acústica realizada nas paredes construídas com tijolo cerâmico.

Tabela 8 - Resultado da avaliação acústica correspondente ao ensaio1: alvenarias executadas com tijolos cerâmicos convencionais

Avaliação Acústica – Alvenarias executadas com tijolo cerâmico			
Descrição	Medições Alvenaria 1 dB(A)	Medições Alvenaria 2 dB(A)	Medições Alvenaria 3 dB(A)
Ambiente da câmara onde houve emissão do ruído	88,4	87,0	86,2
Ambiente receptor do ruído onde se encontra a alvenaria em estudo ruído	83,1	82,5	81,5
Diferença	5,3	4,5	4,77

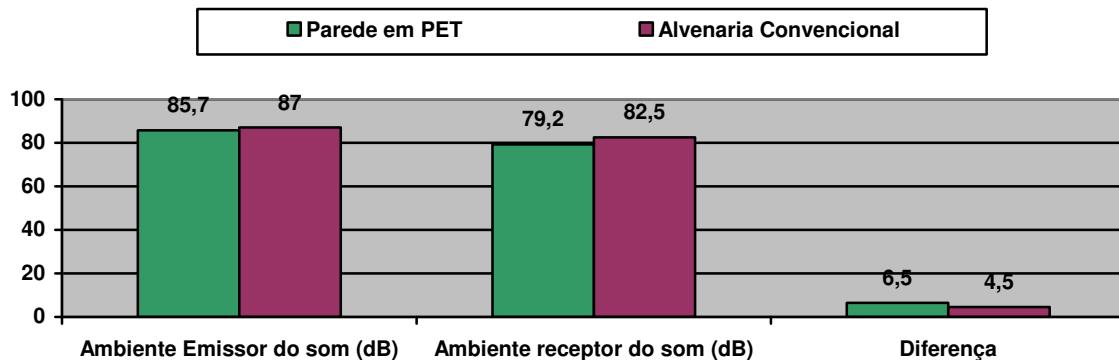
Para facilitar a visualização comparativa, a Figura 41 mostra os resultados da avaliação acústica realizados nas alvenarias correspondentes ao traço 1:3:0,7 (cimento:areia:água), tanto executada com blocos em PET como na parede executada com tijolos cerâmicos convencionais.

Figura 41 - Desempenho acústico das alvenarias correspondentes ao Traço 1.



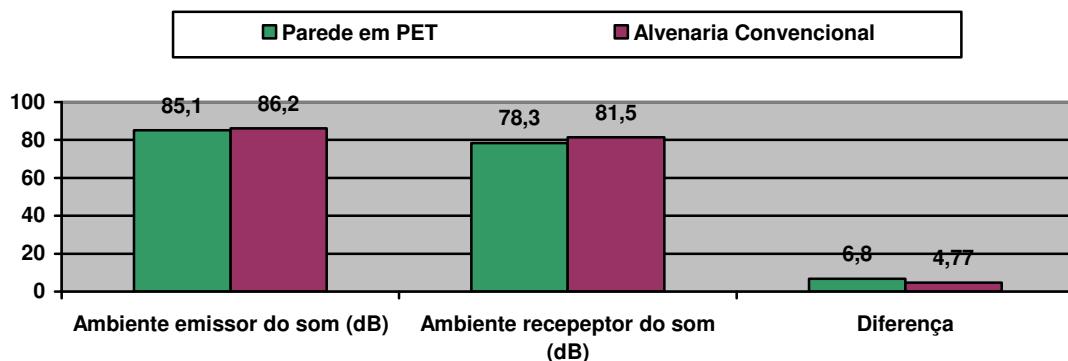
A Figura 42 apresenta o desempenho acústico obtido pela alvenaria executada com blocos em PET e pela alvenaria executada com tijolos cerâmicos convencionais correspondentes ao traço 1:5: 0,8.

Figura 42 - Desempenho acústico das alvenarias correspondentes ao traço 2.



A Figura 43 apresenta o desempenho acústico para as paredes 3, executada com blocos em PET e executada com tijolos cerâmicos convencionais correspondentes ao traço 1:7:0,9.

Figura 43 - Desempenho acústico das alvenarias correspondentes ao traço 3.



A forma de determinação dos coeficientes de absorção sonora realizadas não se encontram sob normatização e foram utilizadas apenas para a obtenção de dados comparativos acerca das alvenarias construídas com tijolos cerâmicos convencionais e com alvenarias executadas com blocos em PET.

Observou-se que as alvenarias executadas com blocos em PET conduziram a melhores resultados de absorção de ruídos quando comparadas com as alvenarias executadas com tijolos cerâmicos convencionais. As primeiras absorveram entre 6,5 dB e 6,9 dB ao passo que as últimas reduziram o som entre 4,5 dB e 5,3 dB.

Observou-se também que apesar da diferença de porosidade dos traços aparentemente ele não tem influência significativa na absorção sonora, sendo mais importante o tipo de bloco.

4.3.2 – Ensaio 2 para Avaliação Acústica das Alvenarias

A câmara reverberante na qual foi realizada o segundo ensaio acústico possui uma porta com chapa de aço de 12 mm de espessura, 180,0 cm de largura e 250,0 cm de altura, fechada sob pressão, para garantir uma perfeita estanqueidade.

No teto da câmara foram fixadas placas que separam a fonte sonora emitida como se fossem canais de frequência, diminuindo a propagação desordenada do som emitido, a mistura das ondas e a distorção típica de amplificações extremamente altas conforme a Figura 44.

Figura 44 - Câmara reverberante do laboratório de acústica da UFPB.

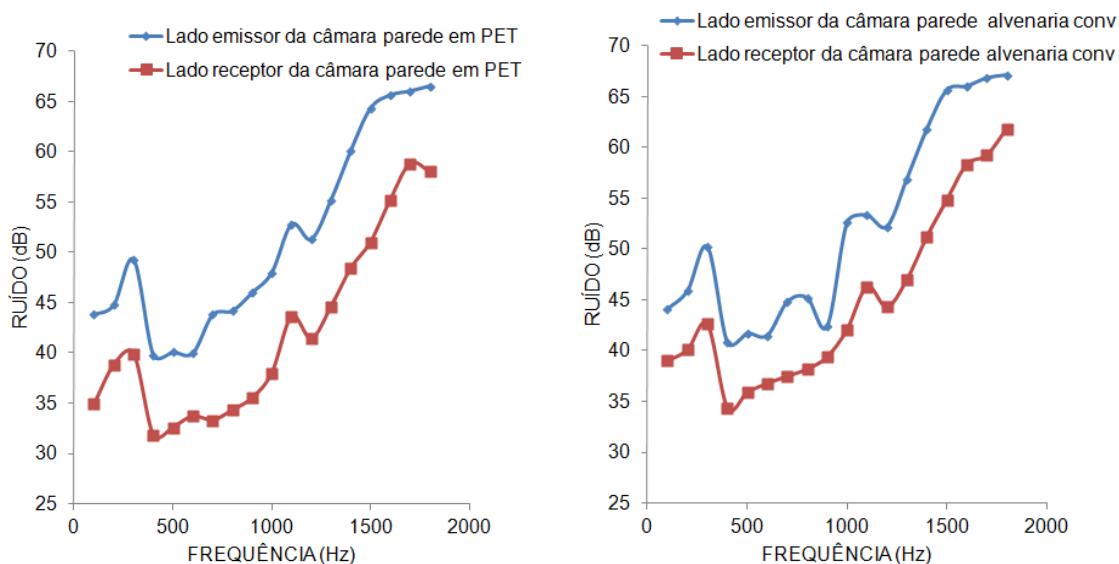


Os dados obtidos através dos ensaios nas alvenarias correspondentes ao ensaio 2 vêm da medição em um osciloscópio da frequência emitida pela fonte sonora omnidirecional.

Também o som absorvido pelas alvenarias em estudo foi obtido através de analisador acústico na câmara.

A Figura 45 apresenta os resultados do ensaio para avaliação acústica da alvenaria executada com blocos em PET e com a alvenaria convencional correspondente ao traço 1:3:0,7 (cimento:areia:água).

Figura 45 - Avaliação acústica correspondente ao traço 1: alvenaria com blocos em PET e alvenaria convencional.

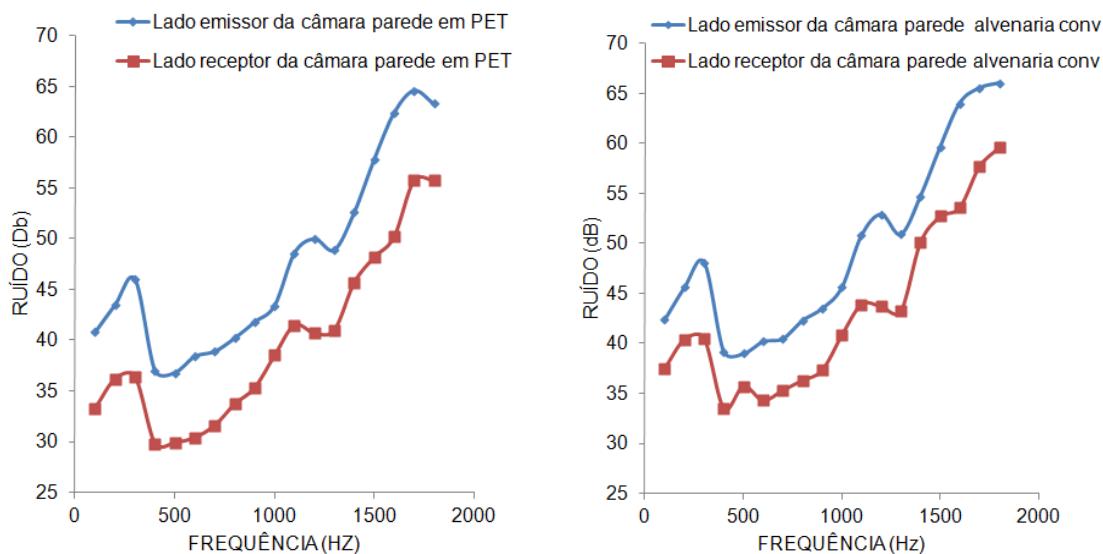


A câmara receptora da alvenaria em PET registrou índices de ruídos entre 34,9 dB e 58,8 dB; o menor índice de ruído ocorreu na faixa de frequência de 400 Hz.

A alvenaria convencional localizada no lado receptor da câmara reverberante absorveu ruídos entre 39 dB e 61,8 dB, o menor ruído foi absorvido pela alvenaria nas taxas de frequência correspondentes a 400 Hz e 500 Hz.

A Figura 46 apresenta os resultados do ensaio para avaliação acústica da alvenaria executada com blocos em PET correspondente ao traço 1:5:0,8 (cimento:areia:água).

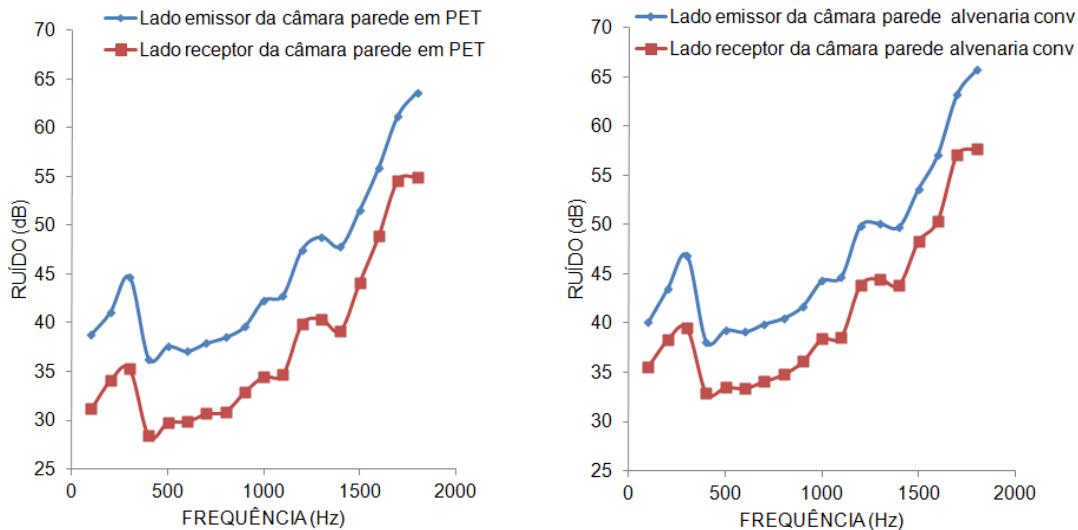
Figura 46 - Avaliação acústica correspondente ao traço 2: alvenaria com blocos em PET e alvenaria convencional.



A alvenaria em PET absorveu na câmara receptora ruídos com variações entre 29,8 dB e 55,8 dB, já a alvenaria convencional absorveu ruídos com variações de absorção entre 34,3 dB e 59,6 dB.

A Figura 47 mostra os resultados obtidos ensaio para avaliação acústica da alvenaria executada com blocos em PET e com alvenaria convencional no traço 1:7:0,9 (cimento:areia:água).

Figura 47 - Avaliação acústica correspondente ao traço 3: alvenaria com blocos em PET e alvenaria convencional.



O lado receptor da fonte absorveu através da alvenaria com PET ruídos entre 28,4 dB e 54,9 dB, já a alvenaria convencional obteve variações entre 32,9 dB e 59,1 dB.

A NBR 12179 apresenta o roteiro para o desenvolvimento do tratamento acústico em recintos fechados que compreende determinações para isolamento acústico que se dá através do uso de materiais capazes de permitir a necessária impermeabilidade acústica e através do condicionamento acústico que pelo estudo geométrico-acústico do recinto.

A NBR 12179 descreve os materiais de construção mais usuais e seus respectivos coeficientes de absorção acústica, porém os blocos em estudo executados empregando garrafas PET não possuem normatização.

Os resultados do ensaio apontam para o melhor desempenho das paredes com os blocos com garrafas PET. Isto já significa uma vantagem da alvenaria com os blocos desenvolvidos em relação às paredes convencionais de blocos cerâmicos.

4.4 – Ensaios de Resistência à compressão das Alvenarias

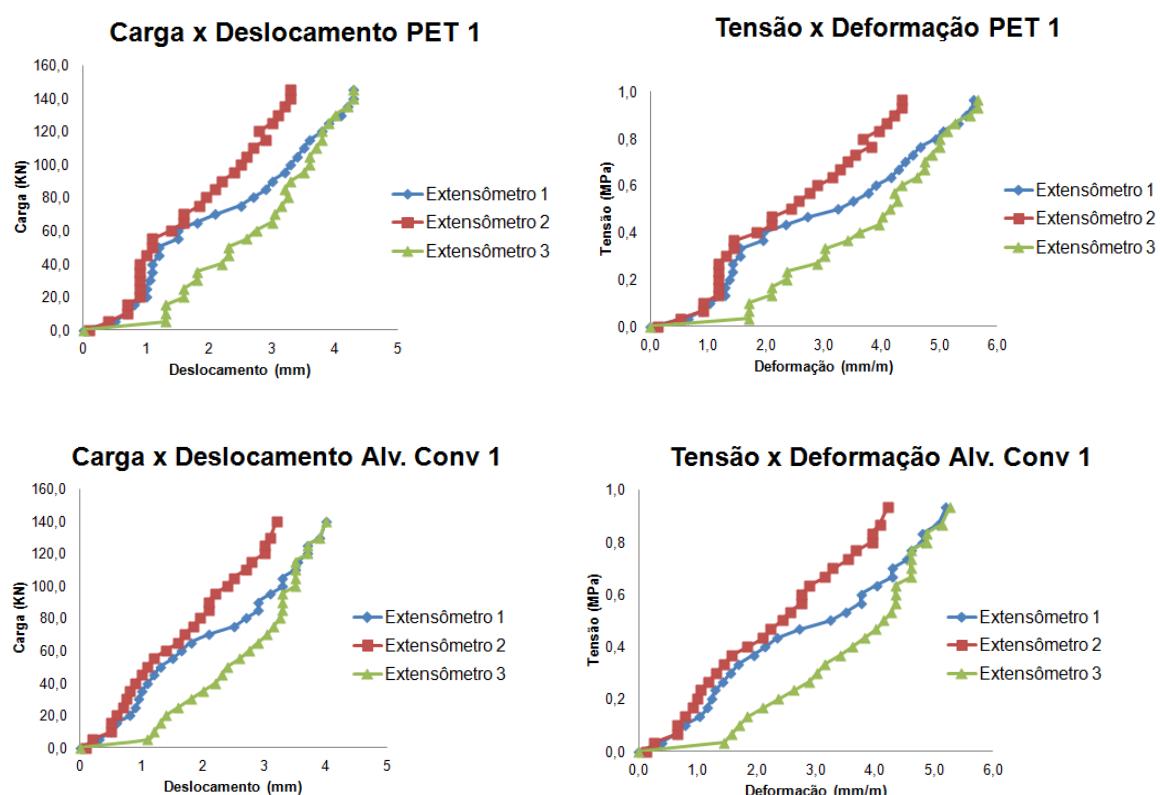
A seguir apresentam-se os resultados dos testes de compressão feitos nas alvenarias com PET e nas convencionais.

4.4.1 – Resistência à compressão da alvenaria executada com blocos em PET e da alvenaria convencional correspondentes ao Traço 1

A Figura 48 mostra as curvas carga x deslocamento e tensão x deformação obtidas através da leitura dos 3 extensômetros instalados na parede executada com blocos em PET e na alvenaria convencional correspondentes ao Traço 1: 3: 0,7 (cimento, areia e água).

Os extensômetros 1 e 2 foram fixados em uma das faces da alvenaria e o extensômetro 3 corresponde ao fixado no centro da parede.

Figura 48 - Curva carga x deslocamento e tensão x deformação correspondente às alvenarias executadas no traço 1.

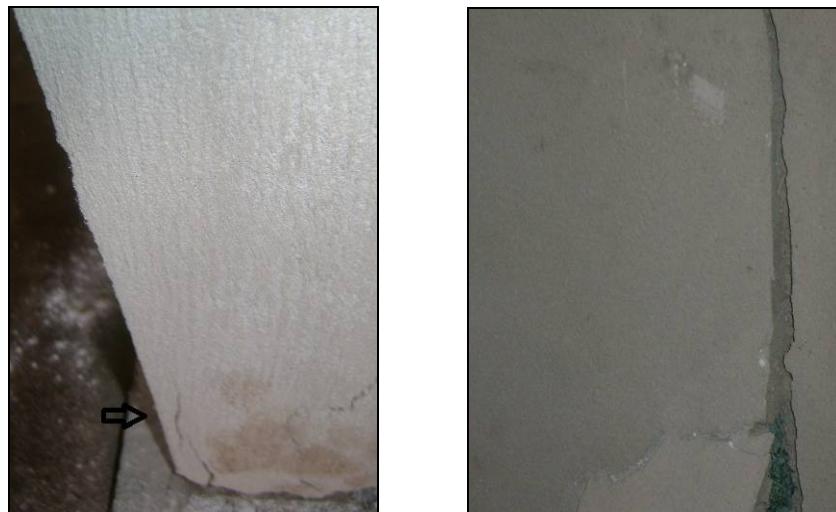


As primeiras fissuras apresentadas na alvenaria com blocos em PET ocorreram sob a carga de 75,0 kN, o valor máximo de carregamento atingido foi de 145 kN.

Observa-se que na alvenaria convencional o valor máximo atingido pelo carregamento foi de 140 kN; os primeiros sinais de esmagamento ocorreram sob a carga de 98 kN.

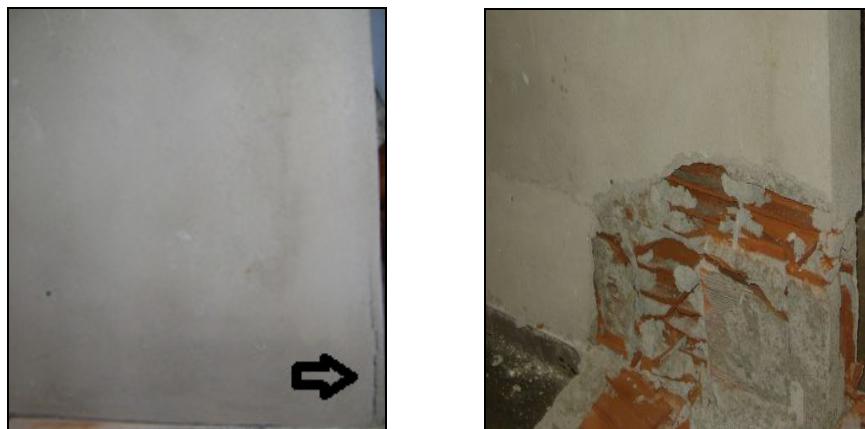
Conforme com a Figura 49, a ruptura por esmagamento na alvenaria em PET deu-se início na parte inferior, onde a partir das fissuras ocorreu o esmagamento e logo após a ruptura total da alvenaria.

Figura 49 - Fissuração e ruptura da alvenaria executada com blocos em PET correspondente ao traço 1.



Na alvenaria convencional, a ruptura por esmagamento deu-se início na parte inferior como pode ser observada na Figura 50. Isto pode ser justificado pela concentração maior de tensões em uma das extremidades, causada por excentricidades no carregamento.

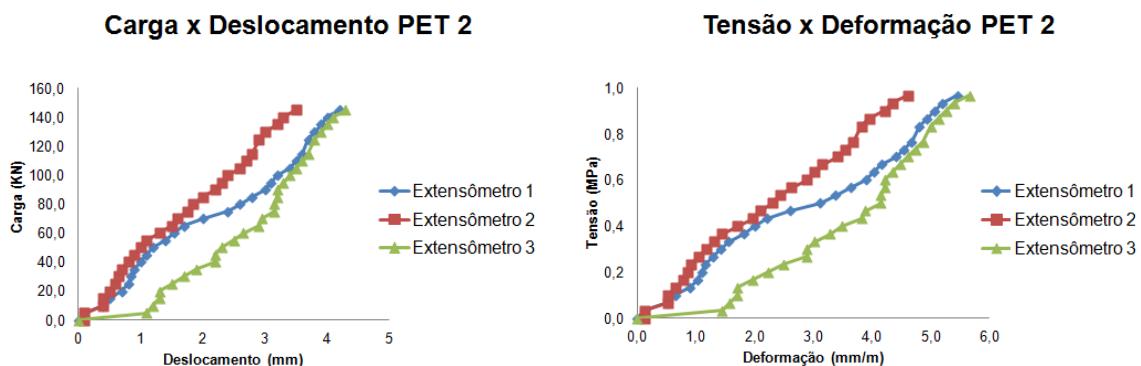
Figura 50 - Fissuração e ruptura da alvenaria convencional correspondente ao traço 1.

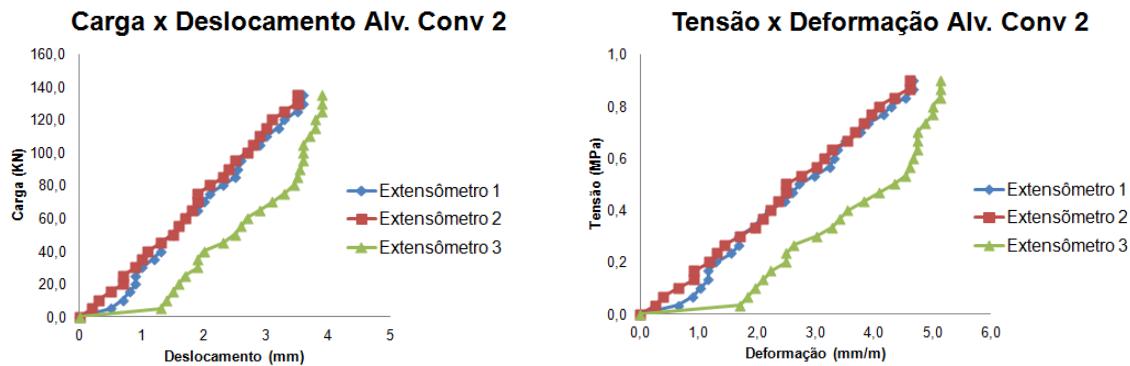


4.4.2 – Resistência à compressão da alvenaria executada com blocos em PET e da alvenaria convencional correspondentes ao Traço 2

A Figura 51 mostra os Gráficos das curvas carga x deslocamento e tensão x deformação obtidas através da leitura dos 3 extensômetros instalados na parede executada com blocos em PET e na alvenaria convencional correspondentes ao Traço 1: 5 - 0,8 (cimento, areia - água).

Figura 51 - Curva carga x deslocamento e tensão x deformação correspondente às alvenarias executadas no traço 2.





Para a alvenaria executada com blocos em PET, a carga máxima atingida foi de 145 kN para que iniciasse a ruptura da alvenaria e o surgimento da primeira fissura ocorreu sob o carregamento de 60 kN.

Na alvenaria convencional as primeiras fissuras ocorreram sob a carga de 78 kN, o valor máximo atingido pelo carregamento foi de 135 kN.

Segundo a Figura 52, na alvenaria em PET a ruptura por esmagamento deu-se início na face lateral, onde a partir das fissuras ocorreu o esmagamento e logo após a ruptura total da alvenaria.

Figura 52 - Fissuração e ruptura da alvenaria executada com blocos em PET correspondente ao traço 2.



De acordo com a Figura 53 a ruptura por esmagamento na alvenaria convencional correspondente ao traço 2. deu-se início na parte lateral inferior da alvenaria.

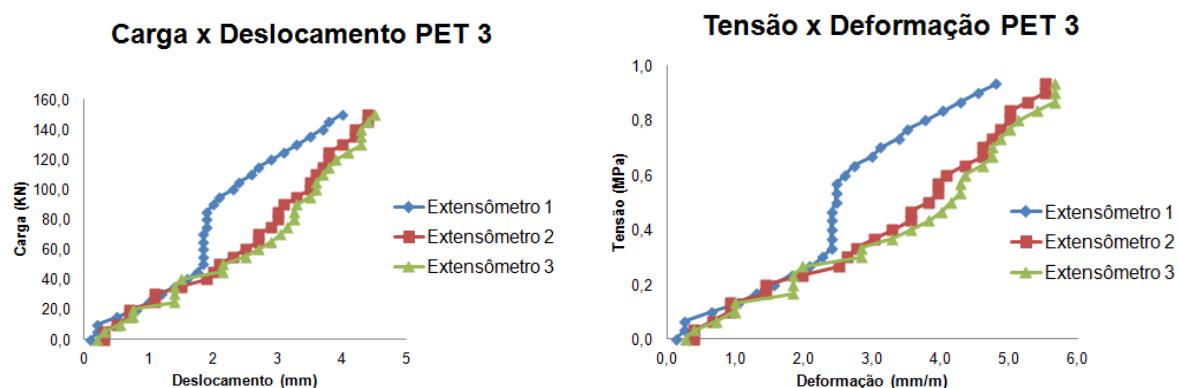
Figura 53 - Fissuração e ruptura da alvenaria convencional correspondente ao traço 2.

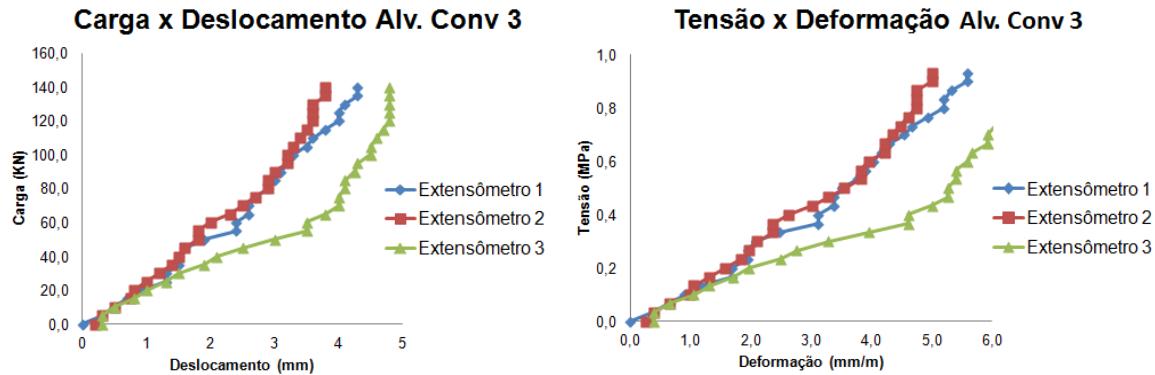


4.4.3 – Resistência à compressão da alvenaria executada com blocos em PET e da alvenaria convencional correspondente ao Traço 3

A Figura 54 mostra as curvas carga x deslocamento e tensão x deformação obtidas através da leitura dos 3 extensômetros instalados na parede executada com blocos em PET e na parede executada com tijolos cerâmicos convencionais correspondente ao Traço 1: 7: 0,9 (cimento, areia e água).

Figura 54 - Curva carga x deslocamento e tensão x deformação correspondente às alvenarias executadas no traço 3.





As primeiras fissuras na alvenaria em PET ocorreram sob a carga 85 kN e o valor máximo atingido pelo carregamento foi de 150 kN.

Na alvenaria convencional os primeiros sinais de esmagamento da alvenaria ocorreram sob a carga de 55 kN e o valor máximo de carregamento obtido foi de 140 kN.

.Conforme a Figura 55, a ruptura por esmagamento deu-se início na face lateral, onde a partir das fissuras ocorreu o esmagamento e logo após a ruptura total da alvenaria executada com blocos em PET correspondente ao traço 3.

Figura 55 - Fissuração e ruptura da alvenaria executada com blocos em PET correspondente ao traço 3.



As alvenarias executadas em PET correspondentes aos traços 2 e 3, a fissuração iniciou no centro da alvenaria, na face lateral que foi se propagando conforme o carregamento. Essas fissuras são oriundas das tensões verticais transversais (horizontais) de tração que aparecem quando aplicadas tensões verticais.

Nas duas alvenarias ocorreu o surgimento de outras fissuras verticais que se propagaram em toda a alvenaria, ocorrendo assim o esmagamento dos blocos em PET de acordo com a Figura 56.

Figura 56 - Esmagamento da garrafa PET durante o carregamento das alvenarias.



Conforme com a Figura 57, a ruptura por esmagamento deu-se início na parte central, onde a partir das fissuras ocorreu o esmagamento e logo após a ruptura total da alvenaria executada com tijolos convencionais correspondente ao traço 3.

Figura 57 - Fissuração e ruptura da alvenaria convencional correspondente ao traço 3.



As alvenarias tanto construídas com tijolos cerâmicos comuns quanto com blocos com PET não apresentaram uma forma única de ruptura, pois durante a execução dos ensaios sempre há excentricidades difíceis de serem controladas.

As três alvenarias executadas com blocos em PET suportaram maior carregamento do que as alvenarias executadas com tijolos cerâmicos comuns conforme os resultados apresentados. As dimensões dos blocos em PET favorecido tal resultado.

A Tabela 9 sumariza os resultados do ensaio de compressão nas alvenarias.

Tabela 9 - Resultados do ensaio de compressão nas alvenarias.

Resultados do ensaio de compressão nas alvenarias		
Parede	Carga de primeira fissura (kN)	Carga última (kN)
PET 1	75 kN	145 kN
Convencional 1	98 kN	140 kN
PET 2	60 kN	145 kN
Conveniconal 2	78 kN	135 kN
PET 3	85 kN	150 kN
Convencional 3	55 kN	145 kN

A NBR 8949 orienta que os resultados devem ser apresentados de forma que se possa obter os principais parâmetros indicativos da resistência e deformabilidade das paredes e que os resultados devem ser apresentados sob a forma de gráficos, e de fatores admissíveis, nos quais são relacionadas as resistências médias das dos prismas, blocos e argamassas.

A NBR 8949 determina que o ensaio de resistência à compressão para paredes de alvenaria estrutural indica que os corpos de prova devem ter dimensões que tornem representatividade aproximada dos valores reais, e quando não há esta possibilidade o recomendado seria reproduzir as paredes com dimensões 120,0 cm x 260,0 cm (largura x altura), o que não ocorreu com as alvenarias avaliadas, mas é importante observar que a norma faz referência às alvenarias executadas para fins estruturais, o que não é o caso.

4.5 – Custo unitário por bloco

O preço da garrafa PET foi obtido através da média dos valores fornecidos por três cooperativas de reciclagem localizadas na Cidade de João Pessoa.

Os preços dos insumos utilizados para a execução dos blocos foram retirados do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) referentes ao mês de fevereiro de 2012.

As informações do SINAPI resultam de trabalhos técnicos conjuntos da Caixa Econômica Federal e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), amparados em convênio de cooperação técnica.

A rede de coleta do IBGE pesquisa mensalmente os preços de materiais e equipamentos utilizados na construção civil.

A CAIXA e o IBGE são responsáveis pela divulgação oficial dos preços do SINAPI (para órgãos públicos e empresas conveniadas) e pela manutenção, atualização e aperfeiçoamento do cadastro de referências técnicas (preços, dos métodos de cálculo e do controle de qualidade dos dados disponibilizados).

A Tabela 10 apresenta o custo unitário dos blocos em PET.

Tabela 10 - Custo unitário dos blocos em PET.

Custo unitário por bloco		
Material	Quantidade	Custo (R\$)
Cimento	1 kg	0,42
Areia	5 kg	0,10
Garrafa PET	1 un.	0,15
Custo Total por bloco em PET		0,67

O custo por m² da alvenaria utilizando blocos em PET é de R\$ 13,40 (treze reais e quarenta centavos).

De acordo com o SINAPI, o custo por m² da alvenaria executada com tijolos cerâmicos convencionais com juntas de 12 mm com argamassa mista correspondente ao traço 1:4 (cimento e areia) é de R\$ 15,48 (quinze reais e quarenta e oito centavos).

CAPÍTULO V

5 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES

A seguir são apresentadas as conclusões e as sugestões para trabalhos futuros.

5.1 – Conclusões

Foi desenvolvido um tipo de bloco para alvenaria com tecnologia simples que pode facilmente ser fabricado em comunidade organizada. Foram utilizados areia reciclada e garrafas PET, o que representa uma contribuição no que diz respeito ao tema da sustentabilidade na construção civil.

A forma dos blocos com PET permite uma execução mais rápida das alvenarias, visto serem necessários para a produção de um metro quadrado apenas cerca de 17 blocos dos primeiros contra 25 blocos cerâmicos.

O desempenho térmico das paredes de blocos com PET foi semelhante ao daquelas executadas em bloco cerâmico.

Os diferentes traços usados na fabricação dos blocos não conduziram à diferenças significativas no desempenho térmico das alvenarias avaliadas. Também o tipo de fonte de calor não influiu de modo sensível nos resultados obtidos

As alvenarias executadas com blocos com PET apresentaram desempenho acústico superior quando comparado com as alvenarias convencionais avaliadas para as duas formas de ensaios realizados.

A presença do espaço vazio no interior do bloco proporciona o isolamento termo-acústico pretendido, o que representa uma forma econômica de se atingir este objetivo sem a necessidade de se recorrer a materiais de custo elevado.

Nos ensaios de resistência dos painéis de alvenaria, aqueles executados usando-se os blocos com PET conduziram a maior resistência. A alvenaria com PET

correspondente ao traço 3, que possui maior quantidade de areia reciclada na execução do traço obteve melhor desempenho mecânico.

Os blocos desenvolvidos incorporando garrafas PET apresentaram resistência à compressão inferiores a 2 MPa, podendo ser utilizados em alvenarias de vedação.

Como as alvenarias propostas não se destinam ao suporte de cargas elevadas, pois são apenas de vedação, a presença da garrafa PET no centro do bloco não representa perda estrutural considerável, uma vez que as exigências de capacidade de carga de alvenarias de vedação são relativamente baixas.

A cidade de João Pessoa já dispõe de uma usina de reciclagem de resíduos da construção, produzindo a areia artificial, assim como de cooperativas de catadores de lixo. Está aqui uma proposta para a geração de emprego e renda utilizando-se as populações marginais para a produção de blocos para a construção. Um projeto desse tipo poderia beneficiar todas as classes sociais, valendo-se de materiais recicláveis que necessariamente favorecem a preservação do meio-ambiente tornando-se uma alternativa viável tanto econômica como social.

Como o déficit habitacional brasileiro está voltado, em sua quase totalidade, para as classes de baixa renda, esse segmento é um grande mercado a ser atendido. Existe uma tendência à produção de um volume maior de habitações populares nos próximos anos, no qual os projetos devem priorizar cada vez mais aspectos como, conforto térmico, acústico e redução de impacto ambiental, assim como a utilização de novas tecnologias construtivas que sejam consideradas adequadas ao usuário. Na maioria dos casos isto não ocorre, pois em geral quando aparecem novas tecnologias nesse campo, as atenções concentram-se apenas no fator custo das habitações e não no benefício gerado.

Conclui-se que o aperfeiçoamento das tecnologias disponíveis para habitação de interesse social, assim como os estudos relacionados ao desempenho térmico, acústico e mecânico, como é o caso desta pesquisa, representa uma contribuição para a produção de habitações com menor custo, que atendam às exigências dos usuários e proporcionem redução do impacto ambiental através do uso de garrafas PET e do emprego de areia reciclada.

5.2 – Sugestões para Pesquisas Futuras

- Incorporar resíduos de alto custo para reciclagem no interior da garrafa PET para a execução de blocos, como os polímeros em geral, por exemplo, pois o preenchimento do interior da garrafa contribui para isoliar estes materiais do ambiente por tempo relativamente longo, considerando o tempo médio de duração das construções comuns bloco visando avaliar o desempenho térmico, acústico e mecânico;
- Estudar blocos semelhantes empregando-se outros materiais, como gesso;
- Investigar a influência do revestimento, diferentes traços e espessuras, no isolamento acústico de edificações executadas com blocos em PET;
- Devido aos blocos serem voltados para aplicação em alvenarias de vedação, faz-se necessário a realização de ensaios de resistência ao fogo; e
- Também merece maior investigação a aderência das argamassas de revestimento aos blocos, através de ensaios de resistência de aderência à tração.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCTerra- Associação Brasileira de Construtores em Terra: **obras desenvolvidas com a utilização de diversas técnicas de construção com terra crua.** Disponível em: www.abcterra.com.br/construcoes/index.htm. Acesso em janeiro 2012.

ABIPET. **Associação Brasileira dos Fabricantes de Embalagens de Pet.** Disponível em: <http://www.abipet.com.br>. Acesso em setembro de 2010.

ABIKO, A. K. **Introdução à gestão habitacional.** São Paulo: EPUSP, 1995. Texto técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, TT/PCC/12.

American Society for Testing and Materials – ASTM. **Standard Test Method for Thermal Performance of Building Assemblies by Means of a Calibrated Hot Box.** ASTM C976, 1996.

ANDRADE e SILVA, José Bonifácio de. **Projetos para o Brasil.** São Paulo: Companhia das Letras/Publifolha, 2000.

ARIZMENDI, BARNES L. J. **Tratado fundamental de acustica en la edificacion.** EUNSA Pamplona, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Acústica –Níveis de ruído para conforto acústico.** NBR 10152: Rio de Janeiro, 1986

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos.** NBR 15116: Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água.** NBR 15270: Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência.** NBR 13276: Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Desempenho de edifícios habitacionais de até 5 pavimentos – Parte 3: Pisos internos – Estrutura.** NBR15.575-2: Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes para Habitações Unifamiliares de Interesse Social.** NBR 15220: Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Tratamento acústico em recintos fechados.** NBR 12179:Rio de Janeiro, 1992.

BALDAUF, Alexandra S. F. **Contribuição à implementação da coordenação modular da construção no Brasil.** Programa de pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004.

BARBOSA, N. P., GHAVAMI, K. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais.** São Paulo: IBRACON, 2007.

BARING, J. G. A. **Isolação sonora de paredes e divisórias.** Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT/SP. In: Tecnologia das edificações. ed. São Paulo, 1988.

BELLIS, M. **The history of polyester. Polyester – PET.** Disponível em <http://inventors.about.com/library/inventors/blpolyester.htm>. Acesso em dezembro de 2010.

BERANEK, L. **Concert halls and opera houses:** music, acoustics and architecture. 2 th. New York: Springer, 2004.

BERTHIER, H. C. Garbage. **Work and society:** resources, conservation and recycling. p 193-210, 2003.

BEZERRA, L. A. C. **Análise do desempenho térmico de sistema construtivo de concreto com EPS como agregado graúdo.** Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica-UFRN, Rio Grande do Norte, 2003.

BONDKI, Nabil Georges. **Origens da habitação social no Brasil:** arquitetura moderna, lei do inquilinato e difusão da casa própria. 2 ed. São Paulo: Estação Liberdade: FAPESP, 1998.

BUSSOLOTI, F. **HowStuffWorks:** como funcionam as construções com terra e adobe. Disponível em <<http://ambiente.hsw.uol.com.br/Adobe.htm>>. Acesso em: maio de 2010.

CAMACHO, Jefferson S. **Projetos de edifícios em alvenaria estrutural.** Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Universidade Estadual Paulista, 2001. 52 p. Notas de aula.

CAVANAUGH, W. J.; WILKES J. A. **Architectural acoustics:** principle and practice. New York, 1999.

CHING, F. D. K. **Arquitetura:** forma, espaço e ordem. São Paulo: Martins Fontes, 2005.

COSTA FILHO, A.; BONIN, L. C.; SATTLER, M. A. **Tecnologias sustentáveis em habitações destinadas à população de baixa renda.** In: Encontro Nacional de tecnologia do ambiente construído, Salvador, 2000. Anais v. 1.

CORONA, E., LEMOS C. A. C. **Dicionário de arquitetura brasileira.** São Paulo: Edart, 1972. 352 p.

CORRÊA, M. R. S.; RAMALHO, M. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural.** 1 ed. São Paulo: PINI, 2003.

DÍAZ, C., PEDRERO A. **The reverberation time and equivalent sound absorption area of rooms in dwellings.** NOISE & VIBRATION WORLDWIDE, v. 38, n. 6, p. 12-20 jun. 2007.

FARIAS, F. F.; NEVES, G. A.; SANTANA, L. N. L.; LIRA, H. L. e FERREIRA, H. C. **Revestimento cerâmico de base vermelha utilizando resíduos de caulim e granito – Parte IV.** Revista Matéria, v. 12, n. 1, p. 226 – 236. In: 50º Congresso Brasileiro de Cerâmica, 2006, Blumenau, SC. Anais, 2007.

FERNANDES, João C. **Acústica e ruídos.** Bauru: UNESP, 2002. 98 p. Apostila.

- FERNANDES, M. **Agenda habitat para municípios.** Rio de Janeiro: IBAM, 2003.
- FERREIRA, A. B. H. **Pequeno Dicionário brasileiro da língua portuguesa.** Ed.10. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 1948.
- FOWLER, D. W. **Current status of polymer concrete in the United States.** In: International Congress on Polymer in Concrete, p. 9, 1998.
- FRANCO, L. S. **Aplicação de diretrizes de racionalização construtiva para a evolução tecnológica dos processos construtivos em alvenaria estrutural não armada.** Tese (Doutorado). São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1992.
- FREIRE, W. J., BERALDO, A. L. **Tecnologias e materiais alternativos de construção.** Unicamp, São Paulo: 2003.
- FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Déficit habitacional no Brasil.** Belo Horizonte: 1995.
- GERGES, S.N.Y. **Ruído: fundamentos e controle.** 2 ed. Revista e ampliada, Florianópolis, SC: NR editora, 2000. 675 p.
- GERGES, S. N. Y. **Ruído:** fundamentos e controle. Florianópolis: UFSC, 1992. 600 p.
- GHAB. **Recomendações e alternativas para novos projetos de habitação popular a partir da avaliação das interações entre usuários e moradia.** Florianópolis: UFSC/FINEP, 1999.
- GONDAL, M.A., SIDDIQUI, M.N. (2007), **Identification of different kinds of plastics using laser-induced breakdown spectroscopy for waste management.** Journal of Environmental Science and Health Part A, 42, 1989-1997.
- GREVEN, H. A. Coordenação Modular. In: GREVEN, H. A. **Técnicas não convencionais em edificação I.** Porto Alegre: Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000. Notas de aula.
- HENRIQUE, L. L. **Acústica musical.** Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2002. 1130 p.

HOLTHAUSEN, C. **Desenvolvimento sustentável.** Cuca Fresca. Florianópolis, 2002.

Houben H., Guillaud H. **Traité de construction en Terre.** Marseille: Editions Parenthèses, 1989.

ISO 140 – Acoustics: Measurement of sound insulation in buildings and of buildings elements: **Part 3: Laboratory measurements airborne sound insulation of buildings elements.** Comité Europeu de Normalização, Bruxelas, Bélgica, 1998;

JOHN, V. M. e AGOPYAN, V. **Reciclagem de resíduos da construção.** In: Seminário Reciclagem de Resíduos Domiciliares, São Paulo, SP, 2010.

OLIVEIRA JÚNIOR, V. **Recomendações para projeto de edifícios em alvenaria estrutural.** 266 p. Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade de São Carlos, 1992.

JUNQUEIRA, A. C.; VITA, M. **Os desejos da classe média.** Revista Veja. São Paulo: abril, ed. 1739, ano 35, n. 7, p. 98-105, 20 fev. 2002.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na Arquitetura.** São Paulo: P. W. , 1997.

LEITE, P. R. **Logística reversa:** meio ambiente e competitividade. São Paulo: Prentice Hall, 2003.

LORDSLEEM JÚNIOR, Alberto C. **Execução e inspeção de alvenaria racionalizada.** 2 ed. São Paulo: O Nome da Rosa, 2002.

LUCINI, H. C. **Manual técnico de modulação de vãos e esquadrias.** São Paulo: Pini, 2001.

MAMEDE, F. C. **Utilização de pré-moldados em edifícios de alvenaria estrutural.** 187f. Programa de pós-graduação em engenharia civil, São Carlos, Universidade de São Paulo, 2001.

MARCO, C. S. **Elementos de acústica arquitetônica.** 2^a ed. São Paulo: Nobel, 1986.

MÉNDEZ, Antonio M. **Acustica arquitectonica.** 1 ed. Buenos Aires: UMSA, 1994.238p.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Habitação de interesse social.** Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br>>. Acesso em Setembro de 2010.

OLIVEIRA, L. B. **Introdução ao estudo de adobe: construção de alvenaria.** Projeto Cantoar/FAU, Brasília, 2005.

ORNSTEIN, Sheila W. **Avaliação pós-ocupação do ambiente construído.** São Paulo: Studio Nobel-Edusp, 1992.

PAGE, A. W. e SHRIEVE, N. G. **A critical assesment of compression tests for hollowblock masonry.** Masonry International Journal, 1988.

PEREIRA, Agnes C. W. **Diretrizes para implantação de sistemas construtivos abertos na habitação de interesse social através da modulação.** Programa de pós-graduação em Construção Civil, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005.

PINHO, F. **Sistematização do estudo sobre paredes de edifícios antigos.** Ingenium, 2º série, 1997.

PISANI, M. A. J. et al. **Canteiro experimental: prática ou invenção?.** Aedificandi Revista de Arquitetura e Construção (especial), São Paulo, v.1, n. 2, p. 1-15, out 2006.

PROVENZANO, Thaís Lohmann. **Desenvolvimento de sistema construtivo em painéis pré - fabricados de argamassa e garrafas plásticas para habitação de interesse social.** Programa de pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

RAMALHO, Márcio A.; CORRÊA, Márcio R. S. **Projetos de edifícios de alvenaria estrutural.** São Paulo, SP: Pini, 2003. 174 p.

ROMAN, Humberto R.; MUTTI, Cristine do N.; ARAÚJO, Hércules N. **Construindo em alvenaria estrutural.** Florianópolis, SC: UFSC, 1999.

- ROSSO, Teodoro. **Racionalização da construção.** FAUUSP, São Paulo, 1980.
- SABBATINI, F. H. **O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural silico-calcária.** São Paulo. Programa de pós-graduação em engenharia civil. Universidade de São Paulo, 1984.
- SANTOS, Christian dos; BEROLI, Stelamaris R. **Construção de câmara reverberante em escala para realização de ensaios acústicos.** In: VI Congresso Iberoamericano de Acústica – FIA, 2008. Buenos Aires.
- SANTOS, J. B. B. **Análise Setorial: A indústria de cerveja.** Gazeta Mercantil, São Paulo, 1996.
- SOUZA, U. E. L. **Produtividade e custos dos sistemas de vedação vertical.Tecnologia e gestão na produção de edifícios: vedações verticais.** PCC-EPUSP, São Paulo, p. 237-48.
- SWAMY, R. N. **Sustainable concrete for infrastructure regeneration and reconstruction.** In: Sustainable Construction Into the Next Millennium: Environmentally, Friendly and Innovative Cement Based Materials. Anais. João Pessoa, PB, 2000.
- THOMAZ, E. **Tecnologia, gerenciamento e qualidade na construção.** São Paulo: PINI, 2001.
- VANNI, C. M. K., GOMES, A. M., ANDERY, P. R. P. **Metodologia e análise de falhas aplicada à compatibilização de projetos de obras prediais.** Congresso Latino Americano de Tecnologia e Gestão na Construção de Edifícios. São Paulo: EPUSP, nov. 1999.
- VASCONCELLOS, Silvio de. **Arquitetura no Brasil: sistemas construtivos.** Belo Horizonte: Rona, 1979.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO (UK). **Résumé d'Orientation des directives de l'OMS relatives au bruit dans l'environnement.** Disponível em: <<http://www.who.int/home.page/>> Acesso em abril de 2003.

XU, Y., CHUNG, D. D. L. (2000). **Effect of sand on the specific heat and thermal conductivity of cement**, Cement and Concrete Research, nº 30, p. 59 – 61.